www.sapientia.uji.es | 124

Rehabilitación energética en edificación

M.ª José Ruá Aguilar
Marta Braulio Gonzalo
Ángel Barragán Cervera



Col·lecció «Sapientia», núm. 124

REHABILITACIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICACIÓN

M.ª José Ruá Aguilar
Marta Braulio Gonzalo
Ángel Barragán Cervera

Grado en Arquitectura Técnica

■ Codí d'assignatura ED0951



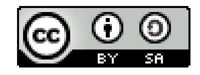
Edita: Publicacions de la Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions
Campus del Riu Sec. Edifici Rectorat i Serveis Centrals. 12071 Castelló de la Plana
http://www.tenda.uji.es e-mail: publicacions@uji.es

Col·lecció Sapientia 124
www.sapientia.uji.es
Primera edició, 2017

ISBN: 978-84-16546-24-4
DOI: http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia124



Publicacions de la Universitat Jaume I és una editorial membre de l'UNE, cosa que en garanteix la difusió de les obres en els àmbits nacional i internacional. www.une.es



Aquest llibre, de contingut científic, ha estat avaluat per persones expertes externes a la Universitat Jaume I, mitjançant el mètode denominat revisió per iguals, doble cec.

ÍNDICE GENERAL

TEMA 3. Condensaciones y puentes térmicos en los edificios

TEMA 4. Selección de sistemas constructivos para rehabilitación energética de edificios

TEMA 5. Estimación simplificada de cargas térmicas

TEMA 6. Instalaciones del edificio en relación a la eficiencia energética

TEMA 7. Instalaciones Solares térmicas

TEMA 8. Consideraciones económicas de la Eficiencia Energética

Índice de tablas

Índice de figuras

TEMA 1. Introducción a la eficiencia energética en la edificación

1. La eficiencia energética en la edificación

Existe una creciente preocupación por el impacto ambiental causado por el hombre y hoy en día, el cambio climático es reconocido como un hecho por la comunidad internacional. Las consecuencias del mismo se están constatando en el aumento de la temperatura global del planeta, lo cual tiene como consecuencia algunos desastres naturales (inundaciones, sequías, disminución de los casquetes polares…). La mayoría de países en el caso de Europa, van tomando medidas para mitigarlo y las medidas afectan a distintos sectores productivos como construcción, industria y transporte.

En esta asignatura se considerará el impacto de los edificios y entornos construidos sobre el medio ambiente. Se reflexionará sobre la conveniencia de construir y rehabilitar edificios de una manera sostenible, considerando su mejora a nivel de eficiencia energética. Además, se analizará desde una perspectiva holística, en la que se conciban los edificios y las construcciones, desde su origen, pasando por su fase de uso y considerando su tratamiento al final de su vida útil. Para ello, se describirán brevemente los conceptos de «Sostenibilidad», «Desarrollo Sostenible», «Ciclo de Vida» y «Eficiencia Energética» en relación con la edificación. Se analizará asimismo el concepto de eficiencia energética en edificación y el por qué es importante su consideración en el proceso edificatorio para minimizar el impacto ambiental de los entornos construidos. Se analizará qué estrategias se pueden aplicar para mejorar la eficiencia energética de los edificios y qué normativas existen en la actualidad, a nivel europeo y español, y cuál ha sido su evolución en el tiempo.

1.1. Desarrollo Sostenible

El término desarrollo sostenible fue formalizado por primera vez en el documento conocido como Informe Brundtland (1987), elaborado por distintas naciones en 1987 para la ONU, por la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, creada en Asamblea de las Naciones Unidas en 1983. El

desarrollo sostenible se definió como aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades. Dicha definición se asumiría en el Principio 3.º de la Declaración de Río (1992) sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo: *el derecho al desarrollo debe ejercerse en forma tal que responda equitativamente a las necesidades de desarrollo y ambientales de las generaciones presentes y futuras*.

Tradicionalmente, el desarrollo sostenible tiene en cuenta tres vertientes: ambiental, económica y social. Efectivamente, una edificación sostenible, no consiste solamente en soluciones de bajo impacto ambiental, sino es necesario que dichas soluciones sean asequibles y aceptadas socialmente para garantizar su aplicabilidad.

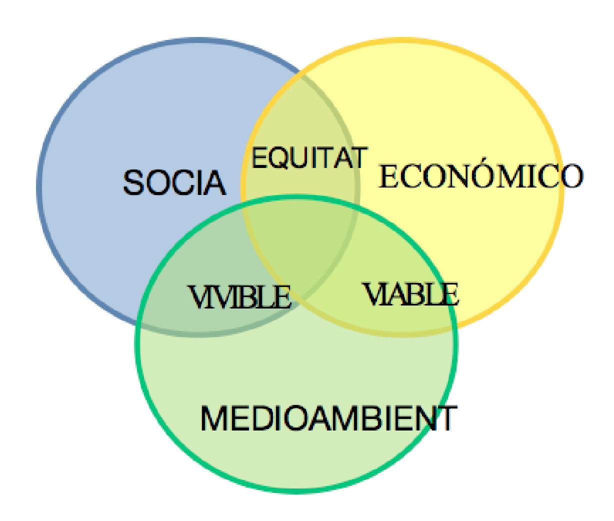


Figura 1. Perspectivas del Desarrollo Sostenible

En los últimos años, algunos autores añaden una cuarta vertiente, la institucional, ya que es necesaria la intervención y el apoyo de las instituciones, tales como gobiernos y administraciones a distintos niveles, puesto que son los que finalmente tienen poder de decisión sobre la implantación de políticas que puedan influir sobre un mejor desarrollo sostenible. Así, por ejemplo, en el caso que nos ocupa, que es la edificación, podrán actuar sobre ciertas normativas que afecten a la construcción de edificios, planeamiento urbanístico, licencias de construcción, impuestos, etc. Por otro lado, cada vez es más relevante la participación de la sociedad en los procesos en los que se vaya a intervenir en pro de la sostenibilidad, como usuarios últimos de los espacios construidos y conocedores de primera mano de las necesidades del día a día.

Al referirnos a entornos urbanos construidos, principalmente los consolidados, la sostenibilidad sirve de base para llevar a cabo procesos de Regeneración Urbana

Integrada (RUI) y acciones de Desarrollo Urbano Sostenible Integrado (DUSI), en los que se debe actuar atendiendo a las diferentes perspectivas de la sostenibilidad.

1.2. Ciclo de Vida

La sostenibilidad ambiental de un producto, como los edificios, se mide evaluando los impactos que se producen a lo largo de todas las fases de su vida, lo que se conoce como su ciclo de vida. De esa manera el análisis es completo. En este sentido se consideran tanto las fases de extracción de materias primas, como las de fabricación de materiales de construcción, puesta en obra del edificio, de uso y mantenimiento del edificio, demolición y retirada. Durante todas estas fases se consumen recursos y se producen emisiones, que dañan la salud de la población, el ecosistema y agotan los recursos naturales y por ello, todas deben tenerse en consideración.

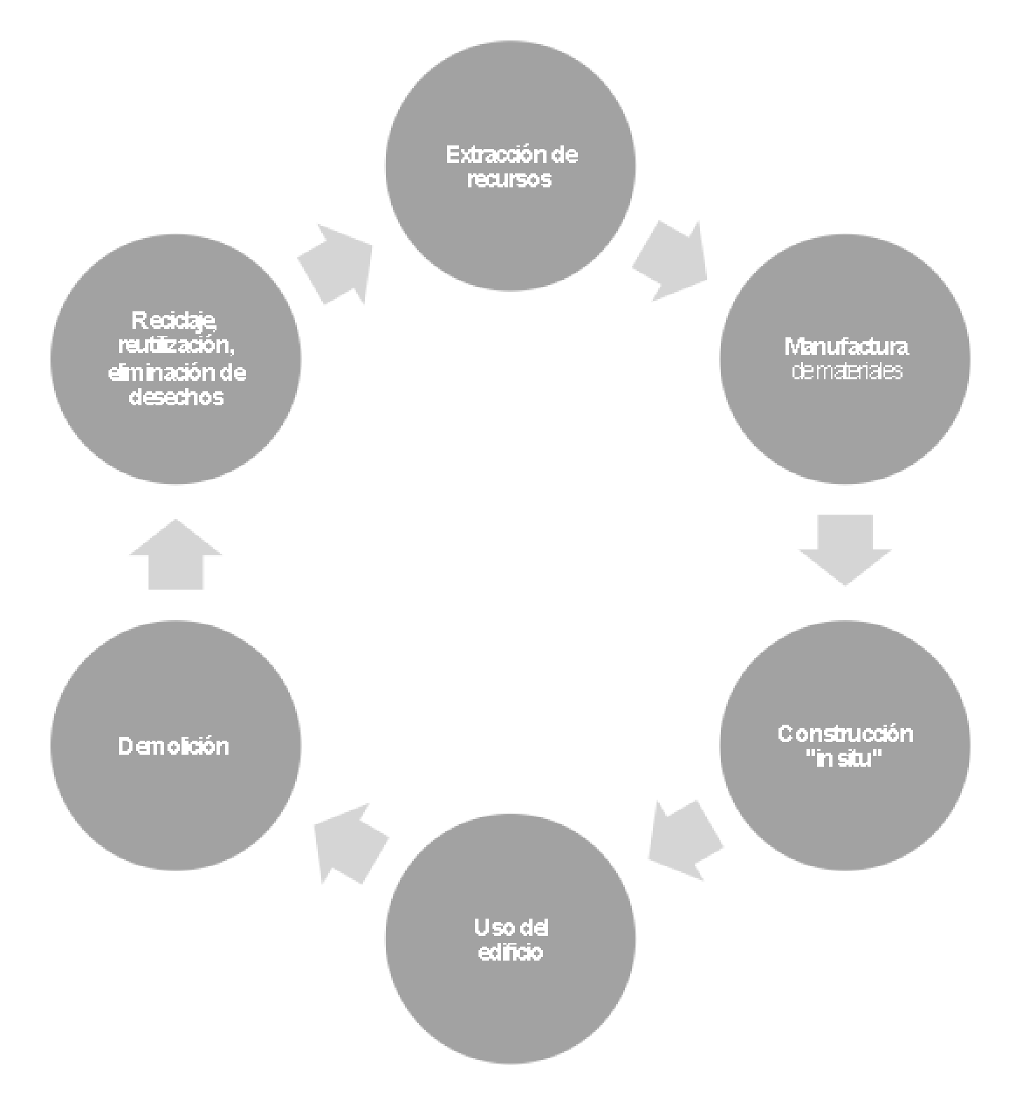


Figura 2. Esquema del ciclo de vida del edificio

Muchos autores han profundizado en este tema, entre otros, Uzsilaityte y Martinaitis, (2010), Verbeeck y Hen, (2009) y Zabalza, *et al.*, (2009).

En el caso de los edificios considerados como productos, las fases de uso y mantenimiento son las de mayor impacto, debido a que se trata de un producto de vida útil muy prolongada. En estas fases, los impactos se deben básicamente a los consumos energéticos para satisfacer necesidades de climatización y la producción de agua caliente sanitaria (ACS) de los usuarios. Es por eso que las normativas europeas, y por extensión las españolas, tienen en consideración la eficiencia energética como aspecto de gran relevancia al analizar la sostenibilidad ambiental de los edificios. Edificios que sean eficientes en el uso de la energía contribuirán a disminuir en gran medida los impactos ambientales de los entornos urbanos.

1.3. Eficiencia Energética

La eficiencia energética es la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. Decimos que un edificio es energéticamente eficiente cuando requiere poco consumo de energía no renovable para obtener un nivel de confort adecuado. Trata, por lo tanto, un aspecto muy específico dentro de la sostenibilidad. Su contribución es, sin embargo, muy significativa, porque afecta a la fase de uso del edificio, la de mayor impacto, según se ha comentado anteriormente. Además, contribuye al objetivo global de disminución de emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera como se verá posteriormente.

En la Directiva europea 2002/91/UE sobre eficiencia energética de los edificios, que se verá con mayor detenimiento en el apartado 4 de este tema, se define como *cantidad de energía consumida realmente o que se estima necesaria para satisfacer las distintas necesidades asociadas a un uso estándar del edificio, que podría incluir, entre otras cosas, la calefacción, el calentamiento del agua, la refrigeración, la ventilación y la iluminación*.

Además, se indica que *dicha magnitud deberá quedar reflejada en uno o más indicadores cuantitativos calculados teniendo en cuenta el aislamiento, las características técnicas y de la instalación, el diseño y la orientación, en relación con los aspectos climáticos, la exposición solar y la influencia de construcciones próximas, la generación de energía propia y otros factores, incluidas las condiciones ambientales interiores, que influyen en la demanda de energía*. En temas posteriores se analizarán términos como demanda energética, consumo energético o emisiones de CO_2 para la valoración de la eficiencia energética.

2. Importancia de la eficiencia energética en los edificios

La eficiencia energética en edificios es un aspecto muy relevante, ya que, con las prácticas constructivas actuales, la edificación es uno de los principales responsa-

bles del cambio climático. Aparte del impacto que supone la ocupación del suelo, el consumo de agua, la generación de residuos, etc., distintas fuentes indican que las emisiones de gases efecto invernadero por parte de los edificios suponen entre un 30 % y un 40 % de las totales. Es por ello que se trata de un sector clave en la reducción de emisiones, máxime si se tiene en consideración la larga vida útil de los edificios.

Si nos remontamos a la Arquitectura Tradicional, también conocida como Popular o Vernácula, se caracterizaba por la adaptación al medio de las construcciones, aprovechando las condiciones orográficas y climáticas, la disponibilidad de materiales locales, etc. Ejemplos destacables son las casas cueva que aprovechan la inercia térmica del terreno; las construcciones encaladas de los pueblos mediterráneos, para aprovechar el albedo o reflejo de la luz solar que produce el color blanco; los hórreos gallegos sobre elevados para evitar la humedad; la vivienda lanzaroteña, que se orienta hacia el sur en torno a un patio para protegerse del viento; y en latitudes más próximas, la barraca valenciana, con una cubierta a dos aguas muy pronunciadas de cañizo y paja para protegerse de la gota fría o la vivienda del maestrazgo turolense orientada a sur para aprovechar la máxima ganancia solar. Toda esta sabiduría popular se puede materializar en las construcciones actuales mediante la implementación de medidas pasivas, aspectos en los que se basa la Arquitectura Bioclimática, como se verá en el tema 2.

Sin embargo, la arquitectura del siglo XX se ha caracterizado por la celebración de la Era de la Industria y la Tecnología. Como consecuencia se generalizó la proyección y ejecución de edificios, sin tomar del todo en consideración las características del emplazamiento. Las necesidades del edificio se podían solucionar mediante las instalaciones que ofrecían al usuario el confort de la vida moderna, de forma artificial. Desde finales del siglo XX y principios del XIX, cuando la comunidad científica ha concluido que los logros creados para el confort del hombre amenazan su propia existencia, los principios de diseño y construcción de edificios van teniendo cada vez más en cuenta los aspectos relacionados con el uso eficiente de la energía. La siguiente figura ilustra esta evolución que se ha podido observar en la arquitectura en los últimos siglos.

La limitación de la demanda energética de los edificios, así como del consumo energético, a nivel normativo, surge con la entrada en vigor del nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE, 2006 y modificación de septiembre de 2013) y se desarrolla a través de la Sección DB HE1 y DB HE0, respectivamente, con el fin de obtener edificios eficientes y reducir el consumo de energía no renovable. El uso de energía renovable comienza también a tenerse en cuenta (DB HE4 y DB HE5).

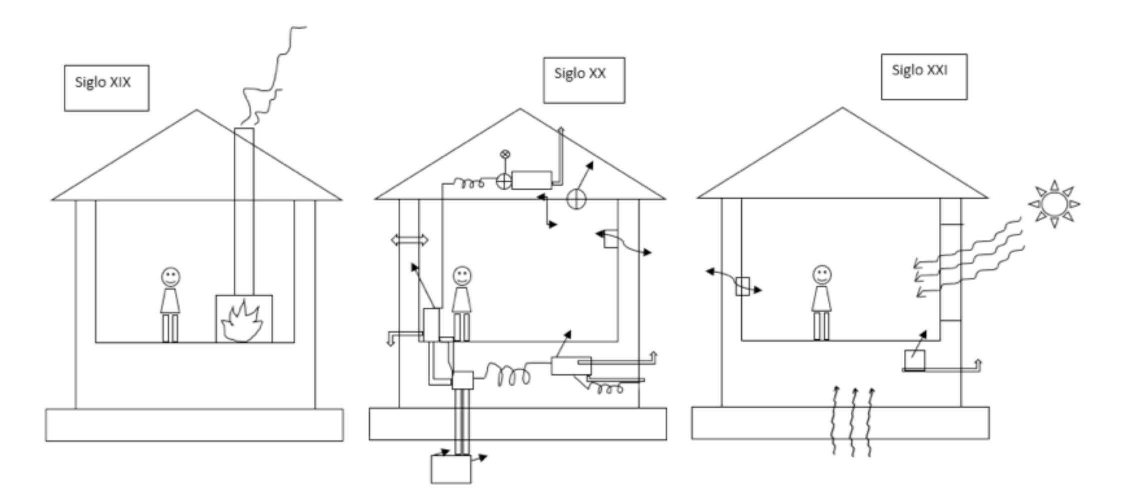


Figura 3. Esquema de la evolución de la arquitectura y las condiciones de confort en los edificios

2.1. Impactos ambientales provocados por la edificación

Los impactos producidos por los entornos construidos son múltiples. Por un lado, la ocupación del suelo, que provoca la disminución de los espacios naturales; por otro lado, el consumo de recursos naturales necesarios para poder construir, pasando por la contaminación de suelos y acuíferos que conlleva múltiples aspectos negativos para la salud de las personas. Paralelamente, todos estos procesos llevan implícitos una generación de residuos que vuelven al sistema y que deben tratarse adecuadamente, así como una contaminación acústica y paisajística que afecta también a los ecosistemas y, un consumo de energía, en su mayoría de fuentes no renovables y con efectos nocivos sobre la atmósfera.

El cambio climático es debido, en gran medida, al aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, el aumento de aerosoles y consecuentemente, las variaciones en radiación solar (a causa de la disminución del ozono troposférico) y las variaciones en la cubierta terrestre (cambios uso suelo).

El exceso de GEI en la atmósfera, se debe principalmente al dióxido de carbono CO_2 y otros gases, como el gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6). Este hecho ha sido ya reconocido por la comunidad internacional y estamos desde algunos años asistiendo a las consecuencias del mismo. El uso de combustibles fósiles para cualquier actividad humana contribuye en gran medida a las emisiones de gases de efecto invernadero. El consumo energético necesario durante todo el ciclo de vida de los edificios, es especialmente importante en su fase de uso, para satisfacer las necesidades de climatización, iluminación, funcionamiento de electrodomésticos y otros equipos

que requieren energía y producción de ACS. En este contexto, frecuentemente se maneja el concepto de CO_2 equivalente (CO_{2eq}). Se define como la concentración de CO_2 que generaría el mismo forzamiento radiativo, o influencia térmica positiva, que una mezcla dada de CO_2 y otros componentes de forzamiento como CH_4, N_2O y halocarbonos.

En lo que respecta a la reducción de la capa de ozono, se trata de un fenómeno causado fundamentalmente por las emisiones de clorofluorocarbonos (CFC). A menor espesor de la capa de ozono, menor es la protección contra los rayos ultravioletas. Las consecuencias de la reducción de la capa de ozono son el aumento de enfermedades de la piel, incluidos los cánceres de piel, trastornos oculares y daños en las plantas. Además, los CFC también contribuyen al calentamiento global, aunque en menor medida que el dióxido de carbono. Los CFC se utilizaban en construcción fundamentalmente para aislamiento, gases de refrigeración, aerosoles técnicos y extintores. Afortunadamente, su fabricación quedó prohibida, a partir de los acuerdos firmados en el protocolo de Montreal. Los CFC fueron inicialmente sustituidos por los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), aunque posteriormente, estos fueron también prohibidos, por su contribucióna la reducción de la capa de ozono, aunque en menor medida que los CFC. Los HCFC y CFC han sido sustituidos fundamentalmente por hidrofluorocarbonos (HCF), que representan una solución viable y comprobada para los problemas de reducción de capa de ozono y cambio climático abordados en los procesos del Protocolo de Montreal y Kioto.

En el contexto de la edificación y frente a la problemática ambiental que supone, se puede trabajar sobre distintos aspectos. Así, se puede influir en la minimización del consumo de recursos, planificar unos diseños urbanos más adecuados a las condiciones del lugar, llevar a cabo la selección de productos de construcción con bajo impacto medioambiental y asegurar prácticas constructivas poco agresivas frente al medio ambiente, entre otros aspectos, que se tratarán en los temas siguientes.

Principalmente, en esta asignatura se tendrá en cuenta el aspecto de la eficiencia energética, por la importante contribución que se puede hacer desde las profesiones relacionadas con el sector de la construcción. Un consumo racional de la energía optimizando su uso, es el primer paso hacia la consecución de edificios sostenibles. Muchos países han adoptado ya normativas encaminadas a mejorar este aspecto y las prácticas sostenibles se van generalizando progresivamente, aunque aún hay mucho camino por recorrer. Una señal de que esto es así es la inclusión de este factor como clave en los planes de estudios de futuros profesionales del sector de la edificación. Hoy en día son demandados informes técnicos de eficiencia energética de edificios suscritos por técnicos competentes en la materia como se verá al hablar de la normativa relacionada.

Por otro lado, al considerar entornos urbanos construidos, es aconsejable actuar desde las fases de diseño siempre que sea posible, adecuándose a las condiciones particulares del lugar. Sin embargo, en la actualidad, debido a la crisis económi-

ca que fue especialmente acusada en el sector de la construcción, va adquiriendo más importancia las intervenciones en entornos consolidados con recuperación de las edificaciones y construcciones existentes y, por lo tanto, los diseños desde las primeras fases del edificio se ven muy limitados. Aun así, tal y como sostienen muchos expertos, debe fomentarse la rehabilitación, ya que puede considerarse más sostenible que la nueva construcción (Power, 2008). Es por ello, que es de prever que la edificación existente y los entornos construidos consolidados constituyan, en el futuro inmediato, el principal nicho de mercado en el sector de la construcción.

Obviamente, los entornos edificados consolidados tienen más limitaciones de partida, que aquellos en los que se puede intervenir desde las fases de diseño. Sin embargo, suponen el mayor porcentaje del total del parque edificatorio y, por lo tanto, es un mercado potencial de rehabilitación energética, objeto principal de esta asignatura.

3. Limitación de la demanda energética

Las soluciones o estrategias para obtener una edificación sostenible son múltiples. Se pueden agrupar en cuatro grandes bloques genéricos:

1. Optimización de los recursos y materiales

    - Disminución de la cantidad de terreno natural usado: muchos autores defienden el modelo de ciudad compacta y la construcción en altura frente al de ciudad dispersa, que conlleva mayor superficie de suelo ocupado y más necesidades de infraestructuras (canalizaciones, transportes…).
    - Utilización de materiales y recursos naturales: conlleva menor coste de transformación.
    - Utilización de materiales y recursos duraderos: conlleva un menor reemplazamiento.
    - Utilización y reutilización de materiales y recursos reutilizables y reciclables.
    - Utilización de materiales y recursos fácilmente reparables.
    - Ahorro de agua.

2. Disminución del consumo energético y uso de energías renovables durante el ciclo de vida del edificio, en distintas fases:

    - La extracción de las materias primas y su transporte.
    - El transporte de la mano de obra.
    - El proceso de construcción.
    - El uso del edificio: reducción de demanda energética y utilización de fuentes de energía renovables, aumento de eficiencia energética de las instalaciones
    - La deconstrucción del edificio y el transporte de los residuos
    - El reciclaje, incineración y tratamiento para reutilización y sus transportes asociados, o transporte a vertedero

3. Disminución de residuos, emisiones y ruidos durante el ciclo de vida del edificio

4. Disminución del mantenimiento, explotación y uso de los edificios

   - Adecuación de la durabilidad del material a la vida útil del edificio
   - Disminución de la energía consumida en el edificio
   - Disminución de la necesidad de mantenimiento del edificio

De entre todas estas estrategias, en esta asignatura se estudian las estrategias de reducción de la demanda energética, el uso de energías renovables y el aumento de la eficiencia energética de las instalaciones, en la etapa de uso del edificio. Estas estrategias tienen gran repercusión por la larga vida de los edificios y se irán tratando con mayor profundidad en los temas siguientes. No obstante, es importante que seamos conscientes de que para una edificación más sostenible hay muchas otras estrategias de actuación implicadas en los diferentes aspectos del proceso edificatorio, que los agentes de la edificación deben considerar.

3.1. Reducción de demanda energética

La demanda energética es la cantidad de energía de climatización, ACS e iluminación, que las instalaciones de un edificio han de producir para alcanzar el nivel de confort en su interior. El objetivo es reducir esta demanda energética. Esto se puede hacer mediante un diseño adecuado al entorno del edificio y mediante el empleo de soluciones constructivas, de manera que el edificio requiera poco consumo energético de climatización. Por ejemplo, se puede orientar el edificio de tal manera que se aprovechen las fuentes de energía naturales que ofrece el medio (soleamiento, brisas frescas, iluminación natural) y protegiéndolo de las agresiones del medio (soleamiento, vientos fríos). Además, también se puede actuar mejorando la resistencia térmica de su envolvente térmica mediante la selección de materiales y soluciones constructivas adecuados.

3.2. Utilización de fuentes de energía renovables

Además de las características del edificio como diseño, forma, materiales y soluciones constructivas, la eficiencia energética del mismo vendrá también determinada por sus instalaciones. En este sentido, es recomendable la utilización de fuentes de energía renovables, como pueden ser la energía solar térmica, energía solar fotovoltaica, la energía geotérmica, etc. Será necesario estudiar la viabilidad de aplicar estas energías según las particularidades de cada caso.

3.3. Aumento de eficiencia energética de las instalaciones

Generalmente, debido a la irregularidad de las fuentes de energía renovable, muchas veces es necesario utilizar fuentes de energía no renovables, por ejemplo, para el sistema de apoyo para producción de agua caliente sanitaria (ACS), el sistema de calefacción o el de refrigeración. Por ello, también hay que seleccionar las instalaciones de edificación basadas en energías no renovables, buscando una mayor eficiencia, y adecuándolas a la tipología del edificio y a su uso.

Asimismo, todas estas estrategias hay que aplicarlas, además de buscando el confort térmico de los ocupantes, sin que suponga un menoscabo en la calidad de vida de los ocupantes del edificio por otros motivos, asegurando una apropiada calidad del aire interior, una adecuada iluminación, así como un bienestar acústico de los ocupantes. Frecuentemente puede haber conflictos entre los distintos objetivos descritos. Por ejemplo, estrategias de mejora de la calidad del aire interior pueden estar en conflicto con estrategias de reducción de consumo energético. En estos casos, hay que favorecer soluciones que satisfagan simultáneamente todos los objetivos o estrategias, o que los satisfagan parcialmente en un punto de equilibrio.

4. Tratados internacionales, normativa y distintivos en torno a la eficiencia energética

La comunidad científica e incluso las naciones han entendido que la forma de hacer arquitectura de la Era de la Industria y la Tecnología son insostenibles. Hay una mayor conciencia de la importancia de disminuir los impactos ambientales y, cada vez van teniendo más relevancia los aspectos sociales. El motivo ambiental es evidente, ya que se reconoce que el daño hecho al medio ambiente es irreversible y que, actuando a tiempo, se puede mitigar, aunque no se puede revertir totalmente. La motivación social es patente en las sociedades más desarrolladas, que van siendo cada vez más conscientes de que las generaciones futuras tienen comprometido su futuro si no se actúa.

Sin embargo, todo este nuevo escenario tiene también un trasfondo económico y político. Por primera vez se toma conciencia de que las consecuencias del cambio climático serán económicamente más costosas que los costes derivados de su mitigación y esto se traduce en la implementación de políticas que tienen que ver con la disminución del consumo de energía. Además, en una economía de mercado cada vez más globalizada, es evidente que los países que poseen recursos energéticos están en una situación de poder frente al resto, luego la disminución del consumo energético es una oportunidad para muchos países de evitar su elevada dependencia energética.

4.1. Tratados Internacionales

Los acuerdos internacionales para la lucha contra el cambio climático se vienen tratando en las llamadas Conferencias de las Partes (COP, acrónimo de *Conference of the Parts*) que se vienen dando anualmente desde 1995. Es especialmente destacable la de 1997, en la que se gestó el Protocolo de Kioto. Supuso por primera vez un compromiso de países industrializados de reducir sus emisiones de GEI (CO_2, CH_4, N_2O, SF_6, HFC y PFC) en los sectores energético, industrial, agrícola, cambio de uso de la tierra, silvícola y desechos. El principal objetivo era conseguir un recorte conjunto de los GEI en un 5 % con respecto a los niveles de 1990, en el periodo de 2008-2012. Se admitía que no era posible alcanzar niveles similares a los que habían antes de la Revolución Industrial, momento en que las emisiones a la atmósfera comenzaron a superar a lo que la misma podía procesar, pero al menos, el cumplimiento del compromiso de Kioto supondría mantener el calentamiento global por debajo de 2 ºC.

El protocolo de Kioto no entró en vigor hasta 2004, con la ratificación por parte de Rusia, superándose el porcentaje de países necesarios y finalmente, no todos los países lo ratificaron (países altamente contaminantes como EE. UU. o China, por ejemplo).



Figura 4. Imagen de Kioto

La Unión Europea sí formaba parte del grupo de países firmantes, adoptando además un criterio algo más ambicioso que llegaba al 8 % de reducción de emisiones. Este porcentaje variaba según el país, en función de diversas variables económicas y medioambientales siendo de: Alemania (-21 %), Austria (–13 %), Bélgica (–7,5 %), Dinamarca (–21 %), Italia (–6,5 %), Luxemburgo (–28 %), Países Bajos (–6 %), Reino Unido (–12,5 %), Finlandia (–2,6 %), Francia (–,9 %), España (+15 %),

Grecia (+25 %), Irlanda (+13 %), Portugal (+27 %) y Suecia (+4 %). La figura 5 ilustra los porcentajes citados para algunos de los Estados Miembros. Tal y como se puede ver, algunos de ellos tenían aún cierto margen de emisiones positivas, como es el caso de España, como consecuencia de su desarrollo económico y sus perspectivas futuras, mientras que otros debían disminuirlas en función de su desarrollo tecnológico en el momento considerado y sus previsiones.

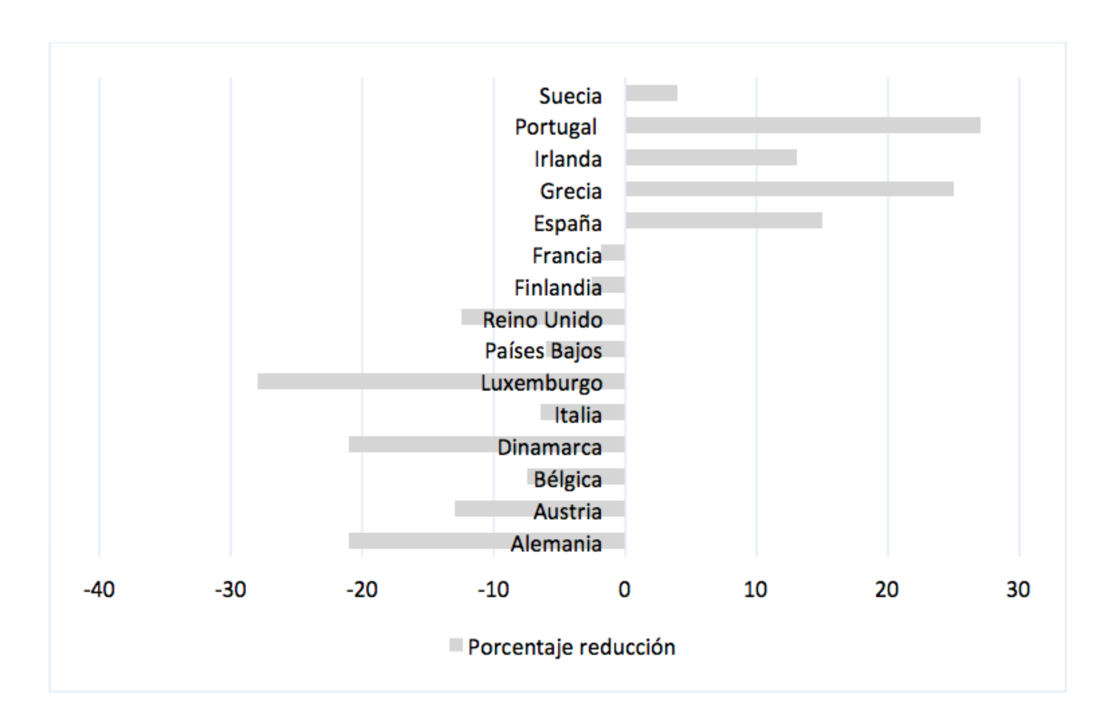


Figura 5. Objetivo de reducción de emisiones de algunos Estados Miembros de la UE, en el periodo 2008-2012

España es uno de los países en que no era necesario reducir las emisiones respecto a las de 1990, sino no aumentarlas en más de un 15 %. Sin embargo, se ha comprobado que ha sido uno de los países con más dificultades para alcanzar el objetivo pactado.

Las emisiones respecto a 1990 durante los últimos años han sido: 1996: 7 %; 1997: 15 %; 1998: 18 %; 1999: 28 %; 2000: 33 %; 2001: 33 %; 2002: 39 %; 2003: 41 %; 2004: 47 %; 2005: 52 %; 2006: 49 %; 2007: 52 %; 2008: 42,7 %. Como se puede observar, desde 1998 emitimos más de lo pactado, aumentando el porcentaje hasta el 52 % en 2007. Solamente en 2006 y 2008 se observaron caídas del porcentaje, y parece complicado reducir del 42,7 % de 2008 al 15 % al que nos comprometimos en 2012.

Sin embargo, datos del *World Wide Fund for Nature España* (WWF), de 2013 (figuras 6 y 7), indican una reducción. Cierta reducción a partir del año 2008, atribuida a la recesión económica y la consecuente disminución de la actividad.

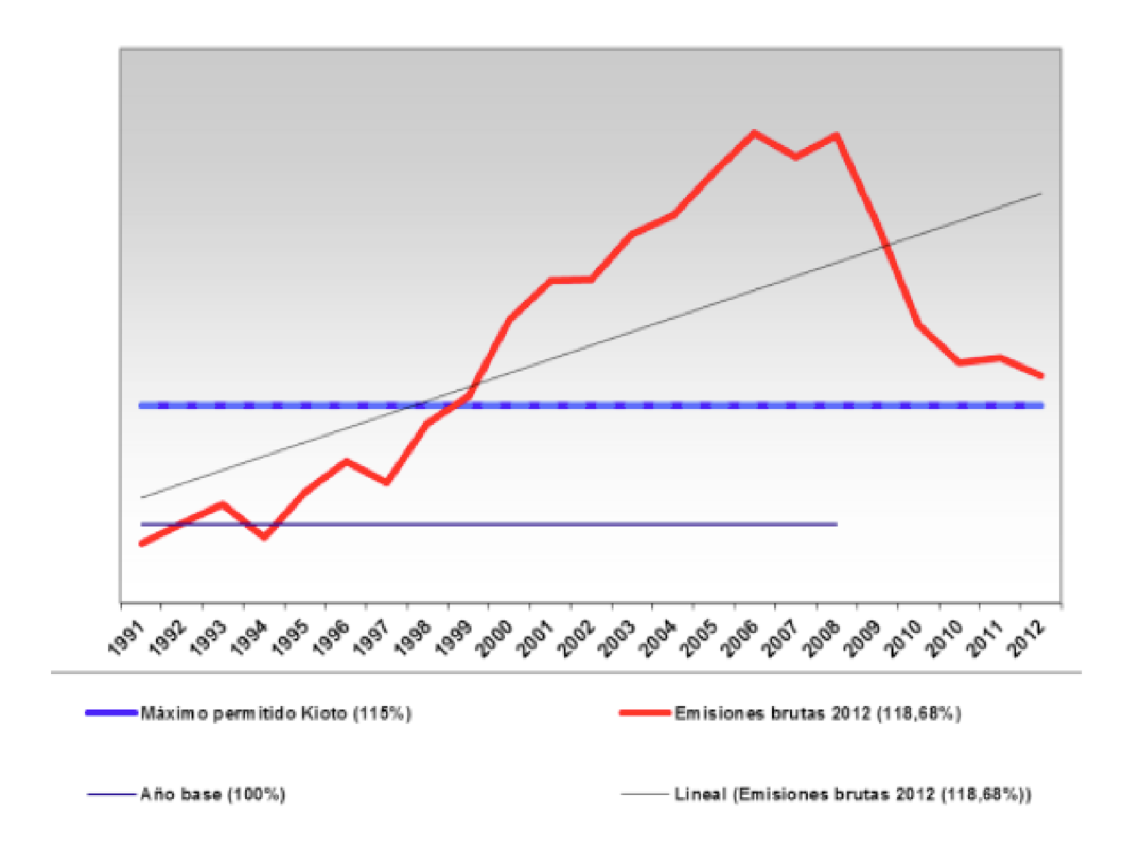


Figura 6. Evolución de la reducción de emisiones de GEI en España, en el periodo 1990-2012. Fuente: WWF España, (2013)

Tabla 1	Porcentaje	Emisiones en Kt de CO2eq.	Población española (miles)	Emisiones por habitante en t CO2eq.	PIB	Variación interanual de las emisiones (porcentaje)	Variación interanual de las emisiones respecto a año base (porcentaje)
Año base	100,00%	289.773,03	39.887,14	7,3			
Límite P. Kioto	115,00%	333.238,99	47.000,00	7,1			
1990	97,59%	282.788,74	39.887,14	7,1	3,8	1,9%	-2,4%
1991	100,17%	290.275,89	38.872,27	7,5	2,5	2,6%	2,6%
1992	102,52%	297.082,62	39.137,98	7,6	0,9	2,3%	2,3%
1993	98,35%	284.997,93	39.790,96	7,2	-1,0	-4,1%	-4,2%
1994	103,95%	301.224,54	40.229,60	7,5	2,4	5,7%	5,6%
1995	107,91%	312.696,93	40.460,05	7,7	2,8	3,8%	4,0%
1996	105,28%	305.073,41	39.669,39	7,7	2,4	-2,4%	-2,6%
1997	112,72%	326.620,19	39.720,12	8,2	3,9	7,1%	7,4%
1998	116,17%	336.642,52	39.852,65	8,4	4,3	3,1%	3,5%
1999	125,79%	364.516,86	40.202,16	9,1	4,0	8,3%	9,6%
2000	130,71%	378.775,82	40.499,79	9,4	5,0	3,9%	4,9%
2001	130,87%	379.222,15	41.116,84	9,2	3,6	0,1%	0,2%
2002	136,54%	395.668,15	41.837,89	9,5	2,7	4,3%	5,7%
2003	138,95%	402.629,95	42.717,06	9,4	3,1	1,8%	2,4%
2004	144,43%	418.528,71	43.195,68	9,7	3,3	3,9%	5,5%
2005	149,37%	432.834,41	44.108,53	9,8	3,6	3,4%	4,9%
2006	146,41%	424.247,46	44.708,96	9,5	4,1	-2,0%	-3,0%
2007	149,09%	432.009,28	45.200,74	9,6	3,5	1,8%	2,7%
2008	137,65%	398.876,39	46.063,51	8,7	0,9	-7,7%	-11,4%
2009	125,17%	362.713,25	45.989,02	7,9	-3,7	-9,1%	-12,5%
2010	120,32%	348.641,31	46.152,92	7,6	-0,3	-3,9%	-4,9%
2011	120,95%	350.483,69	47.265,32	7,4	0,4	0,5%	0,6%
2012	118,68%	343.909,25	47.059,53	7,3	-1,4	-1,9%	-2,3%

Figura 7. Evolución de la reducción de emisiones de GEI en España, en el periodo 1990-2012. Fuente: WWF, España, (2013)

El acuerdo debía haber sido renovado en la cumbre de 2009 en Copenhague, sin embargo, no se alcanzó un acuerdo. Años más tarde, en la COP de París, a finales de 2015, se obtuvo un acuerdo universal y vinculante, con el objetivo de luchar eficazmente contra el cambio climático e impulsar la transición hacia sociedades y economías resilientes y bajas en carbono, manteniendo el calentamiento global por debajo de los 2 ºC (acabada la vigencia del protocolo de Kioto), esforzándose por llegar a la limitación de 1,5 ºC. Para ello, el documento firmado por los países indica que, para la segunda mitad del siglo, se debería llegar a un equilibrio entre las emisiones de GEI provocadas por las actividades humanas y las que pueden ser capturadas por medios naturales o tecnológicos, como por ejemplo los bosques o las instalaciones de almacenamiento de carbono. En 2018, dos años antes de la entrada en vigor del acuerdo de París, los países evaluarán los impactos de sus iniciativas contra el calentamiento global y analizarán nuevamente sus planes de reducción de emisiones de GEI. Cuando el acuerdo cobre efecto, las revisiones se realizarán cada cinco años, a partir de 2023. Otro hito importante conseguido con este acuerdo es la consideración de la viabilidad económica de las naciones. A este

respecto, se insta a los países ricos a respaldar los recortes de emisiones de los países en desarrollo mediante apoyo financiero para la reconversión energética y para enfrentar fenómenos relacionados con el cambio climático, como la intensificación de las sequías y los huracanes.

4.2. Directivas Europeas

Las Directivas Europeas que han contribuido al objetivo de la eficiencia energética de los edificios tienen como precursora a la Directiva 93/76/CEE, de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) mediante la mejora de la eficiencia energética. Dicha Directiva apuntó al sector de la edificación como uno de los grandes responsables en lo relativo al consumo energético y emisiones de CO_2 en Europa. La certificación energética se propuso ya en el año 93 como herramienta necesaria en esta directiva, recomendando a los Estados Miembros su puesta en vigor antes de 1995. Sin embargo, la falta de concreción en la Directiva, así como la gran inercia en el sector de la edificación en algunos países, provocó implantaciones muy desiguales entre los Estados Miembros. Países como Dinamarca y Alemania fueron los primeros en establecer nuevas demandas energéticas restrictivas, y métodos para la certificación energética de edificios. Países como Francia, Italia y España han tardado considerablemente más.

Posteriormente se promulgaron las directivas conocidas con el acrónimo EPBD, del inglés, *Energy Performance of Buildings*. Estas ya recogen los objetivos del protocolo de Kioto. La primera fue la Directiva 2002/91/CE, que trata específicamente el comportamiento energético de los edificios. Dicha directiva supuso un avance efectivo y concreto de las líneas de acción que ya fueron indicadas en la Directiva 93/76/CEE para el sector de la edificación. Con ella, entre otras cosas, se pretendía reducir las grandes diferencias entre los Estados Miembros. Así, se estableció el marco general para la evaluación energética de los edificios, y se instó a los Países Miembros a establecer una metodología de certificación energética que llevase al sector de la edificación a niveles de comportamiento energético superiores a los entonces actuales.

Más tarde, y ante la evidencia de que no se iban a alcanzar los compromisos de Kioto, se actualizó la Directiva de 2002, aumentando algo más las exigencias en cuanto a eficiencia energética. El texto refundido de la Directiva 2010/31/UE de 19 de mayo, modifica y añade algunos aspectos a la Directiva de 2002. Entre otras cosas, respecto a la eficiencia energética de los edificios, se incorpora la necesidad de recomendar medidas de mejora energética teniendo en cuenta su viabilidad económica, para conocer el periodo de retorno de la inversión. En su anexo III, insta a desarrollar una metodología de cálculo. Esta se concreta más tarde en el Reglamento Delegado (UE) de la Comisión, de 16 de enero de 2012 que complementa la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética de los edificios, estableciendo un marco metodológico comparativo para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos.

También incluye la obligatoriedad de certificar energéticamente aquellos inmuebles que vayan a ser alquilados o vendidos y que sean públicas las calificaciones alcanzadas para el nuevo comprador o arrendatario (por ejemplo, en los anuncios de venta). También deberá ser visible la etiqueta energética en edificios en los que una autoridad pública ocupe una superficie útil total superior a 500 m^2, antes del 9 de julio de 2015) y a 250 m^2, tras esa fecha.

La Directiva de 2010 también insta a la redacción de Planes Nacionales destinados a aumentar el número de edificios de consumo de energía casi nulo (edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, cuyos requerimientos bajos de energía quedan mayoritariamente cubiertos por energía procedente de fuentes renovables), debiéndose cumplir las siguientes fechas límite de construcción de edificios de consumo de energía casi nulo: 31 de diciembre de 2020 (todos los edificios nuevos) y 31 de diciembre de 2018 (los edificios nuevos ocupados y que sean propiedad de autoridades públicas).

La directiva también define las «reformas importantes» como una renovación de un edificio cuando:

a) Los costes totales de la renovación referentes a la envolvente del edificio o a sus instalaciones técnicas sean superiores al 25 % del valor del edificio, excluido el valor del terreno en el que está construido, o

b) se renueve más del 25 % de la superficie de la envolvente del edificio. Pudiendo los Estados miembros elegir entre la aplicación de la opción *a*) o *b*). Así pues, en la definición de «reforma importante» queda eliminada la superficie útil mínima de 1000 m^2 indicada en la directiva 2002/91/CE.

Y más recientemente la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. Con ella se pretende establecer un marco común de medidas para el fomento de la eficiencia energética dentro de la Unión a fin de asegurar la consecución del objetivo principal de eficiencia energética de un 20 % de ahorro para 2020, y preparar el camino para mejoras ulteriores de eficiencia energética más allá de ese año. Afecta a normas destinadas a eliminar barreras en el mercado de la energía y a superar deficiencias del mercado que obstaculizan la eficiencia en el abastecimiento y el consumo de energía y dispone el establecimiento de objetivos nacionales orientativos de eficiencia energética para 2020. Complementa a la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de edificios, en lo referente a la función ejemplarizante de los edificios de los organismos públicos. En resumen:

- Modifica la Directiva 2009/125/CE y la Directiva 2010/30/UE sobre etiquetado de productos relacionados con la energía.
- Deroga la Directiva 2004/8/CE de fomento de la cogeneración y la Directiva 2006/32/CE sobre eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos.

- Complementa a la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de edificios, en lo referente a la función ejemplarizante de los edificios de los organismos públicos.

4.3. Normativa Española relacionada

La Directiva 93/76/CEE y la EPBD 2002 se transponen, parcialmente, a la normativa española por medio del RD 314/06 de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. El CTE consta de varios documentos que derogan a las antiguas Normas Básicas de la Edificación (NBE). A efectos energéticos destaca el documento básico de Ahorro de Energía, CTE-DB-HE, que deroga a la obsoleta NBE-CT-79. Los estándares de confort térmico se deben adecuar a la realidad de una España muy alejada de lo que era en la década de los 70. El documento HE-1 se centra en la demanda energética de los edificios. En este se definen aspectos claves para la eficiencia energética como es la envolvente térmica y sus limitaciones de transmitancia térmica, según municipios. Los documentos HE-4 y HE-5 aseguran una cierta presencia de energías renovables para el funcionamiento del edificio.

La transposición (parcial, ya que solo afectaba a nueva construcción) se logró con el CTE, junto con el RD 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprobó el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción y que entró en vigor el 30 de abril de 2007 (de aplicación voluntaria hasta el 31 de octubre de 2007). Asimismo, en 2007, se aprobó una revisión del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), que establecía las condiciones que deben cumplir las instalaciones destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene, a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, para conseguir un uso racional de la energía.

No ha sido hasta 2013 que se completó la transposición al incluir a los edificios existentes, por medio del RD 235/2013, que derogaba al antiguo RD 47/2007. Además, se actualizaron algunos aspectos del CTE-DB-HE (RD 1635/2013), afectando a los procedimientos de certificación. El nuevo CTE introdujo, además, el DB-HE0, que limitaba el consumo energético. Además, el nuevo procedimiento recogido en el RD 235/2013 recogía la obligatoriedad de exhibir la etiqueta energética en edificios en venta y alquiler, lo cual va generalizando la práctica de la certificación. El registro oficial de certificaciones energéticas depende de las Comunidades Autónomas (CCAA). En la Comunidad Valenciana, el Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE), es el organismo encargado de este registro. Recientemente, el RD 56/2016, transpone parcialmente la Directiva 2012/27/UE (trata, entre otros aspectos, sobre auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios, etc.)

En este contexto normativo, en la presente publicación se tratarán aspectos relacionados con la eficiencia energética en general y con la rehabilitación energética en edificios existente, dada la situación en que se encuentra el parque edificatorio de la mayoría de las ciudades españolas. La figura 8 muestra el mapa conceptual que resume los aspectos tratados en este libro y los temas donde se pueden encontrar:

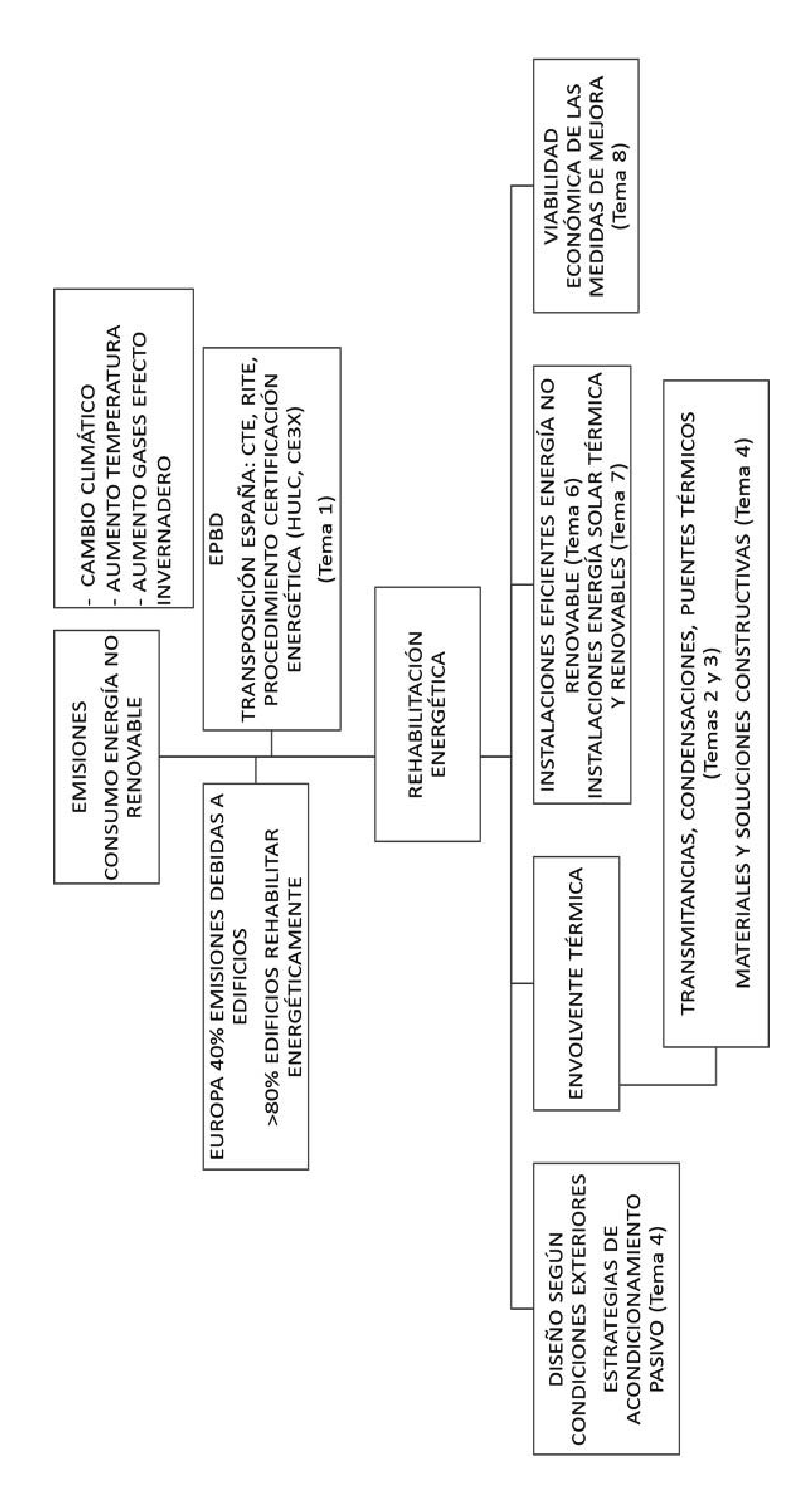


Figura 8. Esquema de los aspectos tratados en el libro

5. Autoevaluación

1. Define los siguientes términos: desarrollo sostenible y ciclo de vida de un producto.

2. ¿Qué se entiende como eficiencia energética de un edificio?

3. ¿Del siguiente listado, indicar qué estrategias mejoran la sostenibilidad ambiental de los edificios y cuáles mejoran su eficiencia energética?

Estrategia	*Mejora sostenibilidad ambiental*	*Mejora eficiencia energética*
Orientar el edificio adecuadamente		
Mejorar la resistencia térmica de la envolvente térmica		
Utilizar materiales reciclados		
Instalar energía solar térmica		
Diseñar edificios fácilmente accesibles con transporte colectivo		
Gestionar adecuadamente los residuos de demolición		
Disponer un sistema de apoyo para la producción de ACS eficiente		

¿Qué normativa en relación a la eficiencia energética es de obligado cumplimiento en Castellón en la actualidad?

Europa:

España:

6. Bibliografía

Amarilla, B. C., (1989), «Los costes de mantenimiento de edificios en países en vías de desarrollo». *Informes de la Construcción*, Vol. 41, pp. 73-80.

Andaloro, A. P.; Salomone, R.; Ioppolo, G.; Andaloro, L., (2010), «Energy certification of buildings: A comparative analysis of progress towards implantation in European countries». *Energy Policy*, Vol. 38, pp. 5840-5866.

Balaras, C. A., Droutsa, K.; Dascalaki, E.; Kontuyiannidis, S., (2005), «Deterioration of European apartment buildings». *Energy and Buildings*, Vol. 37, pp. 515-527.

Pérez-Lombard, L. Ortiz, J.; González, R., (2008), «A review of benmarching, rating and llabelling concepts within the framework of building energy certification schemes», Energy and Buildings, Vol. 41, pp. 272-278, doi: 10.1016/j.enbuild.2008.10.004.

Power A., 2008. «Does demolition or refurbishment of old and inefficient homes help to increase our environmental, social and economic viability?», *Energy Policy* 36, 4487–4501

R. D. 235/2013, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios.

R. D. 314/2006, de 19 de octubre, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación y RD 1635/2013 (actualización del DB-HE «Ahorro de Energía» del CTE).

R. D. 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

Uzsilaityte L. y Martinaitis V., 2010. «Search for optimal solution of public building renovation in terms of life cycle», *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, Vol. 18, pp. 102-110.

Verbeeck, G., Hens, H. (2009) «Life cycle inventory of buildings: A calculation method». *Building and Environment* 45(4): 1037-1041.

Zabalza, I., Aranda, A., Scarpellini, S. (2009) «Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification». *Building and Environment* 44: 2510-2520.

TEMA 2. Ahorro energético en los edificios existentes a través de su envolvente térmica

1. Introducción

España tiene una dependencia energética próxima al 80 %, valor considerablemente superior a la media europea situada en el 54 %, lo que implica que gran parte de la energía que se consume en nuestro país nos vemos obligados a importarla. Solo el sector de la edificación supone el 40 % de la demanda energética en la Unión Europea (UE) y el 32 % en el mundo. Mediante la reducción del consumo, la UE pretende disminuir su dependencia energética y las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que le permitirá avanzar hacia su objetivo de recortar el consumo energético total en un 20 % para 2020.

Dentro de este contexto, la Comisión Europea (CE) elabora directivas para establecer criterios específicos que deberán trasponerse y adaptarse a las peculiaridades de cada país. Así pues, en relación a los edificios, la normativa europea de referencia es la *Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios*. Esta directiva, en el contexto español, se traduce en el *Código Técnico de la Edificación* (CTE) [concretamente en su Documento Básico de Ahorro de Energía (CTE DB HE)] y en el *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios* (RITE).

Este tema aborda un análisis en profundidad de las secciones *DB HE0 Limitación del consumo energético* y *DB HE1 Limitación de la demanda energética* del CTE. El alumno aprenderá a calcular la transmitancia térmica de los elementos de la envolvente térmica de un edificio y a justificar el cumplimiento de los documentos normativos DB HE0 y DB HE1.

2. Conceptos previos

2.1. Envolvente térmica

La envolvente térmica del edificio está compuesta por todos los *cerramientos* que delimitan los *espacios habitables* con el aire exterior, el terreno u otro edificio, y

por todas las particiones interiores que delimitan los *espacios habitables* con *espacios no habitables* en contacto con el ambiente exterior.

La envolvente térmica podrá incorporar, a criterio del proyectista, *espacios no habitables* adyacentes a *espacios habitables*.

La finalidad de la envolvente es servir de «piel» al edificio, pues representa el elemento que lo separa del ambiente exterior y lo protege de las inclemencias climatológicas. Por lo tanto, debe permitir alcanzar el bienestar y el confort térmico de sus ocupantes. A su vez, la envolvente debe contribuir a reducir el *consumo energético* en el interior del edificio y los materiales que la componen deben ser respetuosos con el medioambiente.

En la figura 1. Definición gráfica de la envolvente térmica de un edificio se muestra, a modo de ejemplo, los cerramientos que componen la envolvente térmica de un edificio.

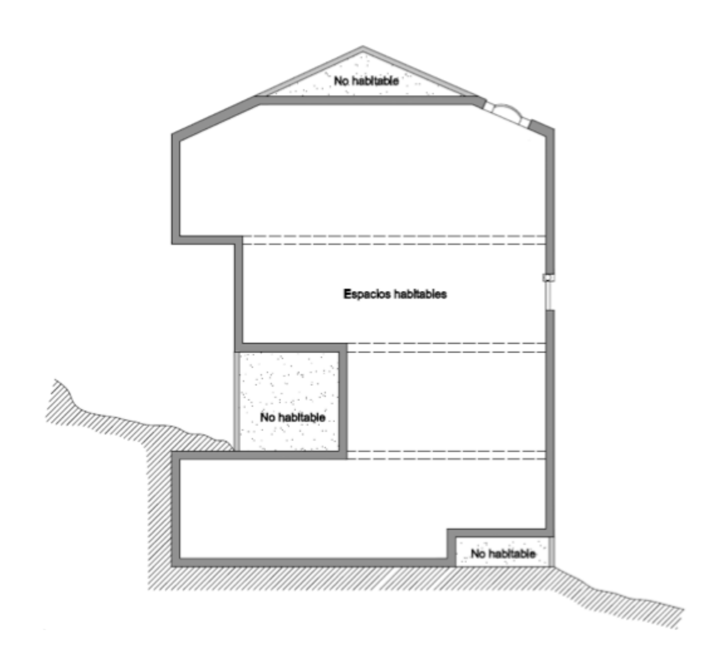


Figura 1. Definición gráfica de la envolvente térmica de un edificio

2.2. Consumo energético

El consumo energético representa la energía necesaria para satisfacer la *demanda energética* de los servicios de calefacción, refrigeración, ACS y, en edificios de uso distinto al residencial privado, de iluminación, del edificio, teniendo en cuenta la eficiencia de los sistemas empleados. Se expresa en términos de energía primaria y en unidades kWh/m^2·año, considerada la superficie útil de los espacios habitables del edificio.

Conviene no confundir y establecer la distinción entre energía primaria y energía final. La energía primaria es la energía suministrada al edificio procedente de fuentes renovables y no renovables, que no ha sufrido ningún proceso previo de conversión o transformación. Es la energía contenida en los combustibles y otras fuentes de energía e incluye la energía necesaria para generar la energía final consumida, incluyendo las pérdidas por su transporte hasta el edificio, almacenamiento, etc. Sin embargo, la energía final es la energía tal y como se utiliza en los puntos de consumo; es la que compran los consumidores, en forma de electricidad, carburantes u otros combustibles usados de forma directa.

En cuanto a la normativa relativa a ahorro de energía, el consumo energético de un edificio se limita en función de la zona climática de la localidad y del uso del edificio. Además, en edificaciones que por sus características de utilización estén abiertas de forma permanente, el consumo será satisfecho exclusivamente con energía procedente de fuentes renovables.

2.3. Demanda energética

La demanda energética se define como la energía útil necesaria que tendrían que proporcionar los sistemas técnicos para mantener en el interior del edificio unas condiciones definidas reglamentariamente en función del uso del edificio (perfiles de uso) y de la zona climática en la que se ubique (clima de referencia). Se puede dividir en: demanda energética de calefacción, de refrigeración, de agua caliente sanitaria (ACS) y de iluminación, y se expresa en $Kwh/m^2 \cdot$año, considerada la superficie útil de los espacios habitables del edificio.

La demanda energética conjunta de calefacción y refrigeración se obtiene como la suma ponderada de la demanda energética de calefacción (D_C) y la demanda energética de refrigeración (D_R). Se expresa en $kWh/m^2 \cdot$año, considerada la superficie útil de los espacios habitables del edificio. La ponderación de realiza en función del consumo de energía primaria requerido para combatir cada demanda, según establece el CTE DB HE en su Apéndice A:

$$D_G = D_C + 0,70 \cdot D_R \text{ (para territorio peninsular)}$$

$$D_G = D_C + 0,85 \cdot D_R \text{ (para territorio extrapeninsular)}$$

2.4. Cerramientos

Elemento constructivo del edificio que lo separa del exterior, ya sea aire, terreno u otros edificios. Se entiende como cerramientos, los siguientes elementos:

- Fachadas: elementos cuyo plano posee una inclinación $\geq 60°$
- Cubiertas: elementos cuyo plano posee una inclinación $< 60°$

- Medianeras
- Suelos
- Cerramiento en contacto con el terreno
- Huecos y lucernarios

2.5. Partición interior

Es el elemento constructivo del edificio que divide su interior en recintos independientes. Pueden ser verticales u horizontales.

2.6. Espacios y recintos habitables y no habitables

Un espacio habitable es un espacio formado por uno o varios recintos habitables contiguos con el mismo uso y condiciones térmicas equivalentes agrupados a efectos de cálculo de la demanda energética.

En función de su densidad de las fuentes internas, los espacios habitables se clasifican en:

- espacios habitables de muy alta carga interna
- espacios habitables de alta carga interna
- espacios habitables de media carga interna
- espacios habitables de baja carga interna

En función de la disponibilidad de sistemas de calefacción y/o refrigeración, los espacios habitables se clasifican en:

- acondicionados o
- no acondicionados

Por consiguiente, un *espacio no habitable* es un espacio formado por uno o varios recintos no habitables contiguos con el mismo uso y condiciones térmicas equivalentes agrupados a efectos de cálculo de la demanda energética. Al no ser un espacio habitable, no se considera la existencia de fuentes internas: iluminación, ocupación y equipos.

Se define como *recinto habitable* el recinto interior destinado al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones acústicas, térmicas y de salubridad adecuadas. Se consideran recintos habitables los siguientes:

- habitaciones y estancias (dormitorios, comedores, bibliotecas, salones, etc.) en edificios residenciales;
- aulas, bibliotecas, despachos, en edificios de uso docente;
- quirófanos, habitaciones, salas de espera, en edificios de uso sanitario;

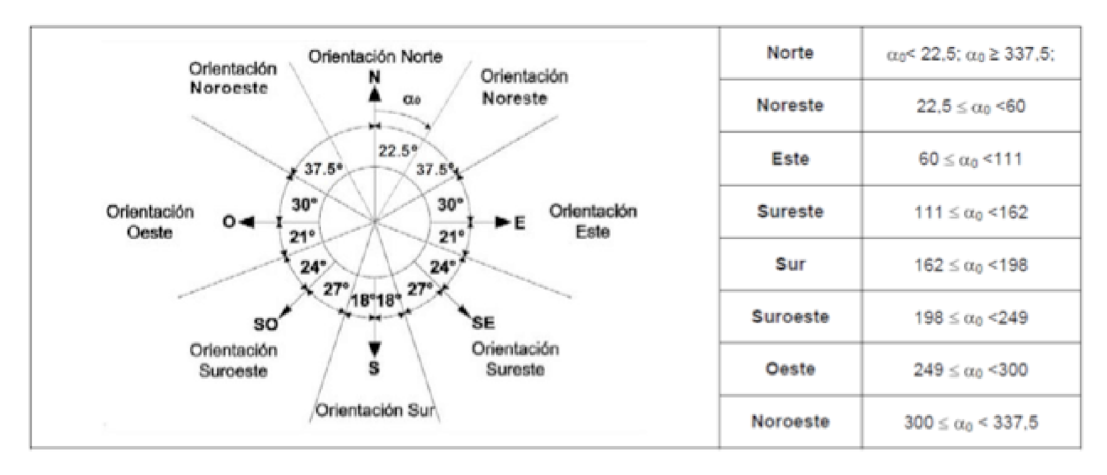
- oficinas, despachos; salas de reunión, en edificios de uso administrativo;
- cocinas, baños, aseos, pasillos y distribuidores, en edificios de cualquier uso;
- zonas comunes de circulación en el interior de los edificios;
- cualquier otro con un uso asimilable a los anteriores.

Un *recinto no habitable* es un recinto interior no destinado al uso permanente de personas o cuya ocupación, por ser ocasional o excepcional y por ser bajo el tiempo de estancia, solo exige unas condiciones de salubridad adecuadas. Se incluyen:

- garajes, trasteros, cámaras técnicas y desvanes no acondicionados, y sus zonas comunes.

2.7. Orientación solar

La orientación de la fachada se caracteriza mediante el ángulo α formado por el norte geográfico y la normal exterior a la fachada, medido en sentido horario. Las orientaciones establecidas por el CTE se muestran en la figura 2. Orientación de las fachadas. A modo de ejemplo, la figura 3. Ejemplo: orientación de las fachadas de una vivienda muestra la orientación de las fachadas de una vivienda según su posición con respecto al norte.



Norte	$\alpha_0 < 22.5$; $\alpha_0 \geq 337.5$;
Noreste	$22.5 \leq \alpha_0 < 60$
Este	$60 \leq \alpha_0 < 111$
Sureste	$111 \leq \alpha_0 < 162$
Sur	$162 \leq \alpha_0 < 198$
Suroeste	$198 \leq \alpha_0 < 249$
Oeste	$249 \leq \alpha_0 < 300$
Noroeste	$300 \leq \alpha_0 < 337.5$

Figura 2. Orientación de las fachadas

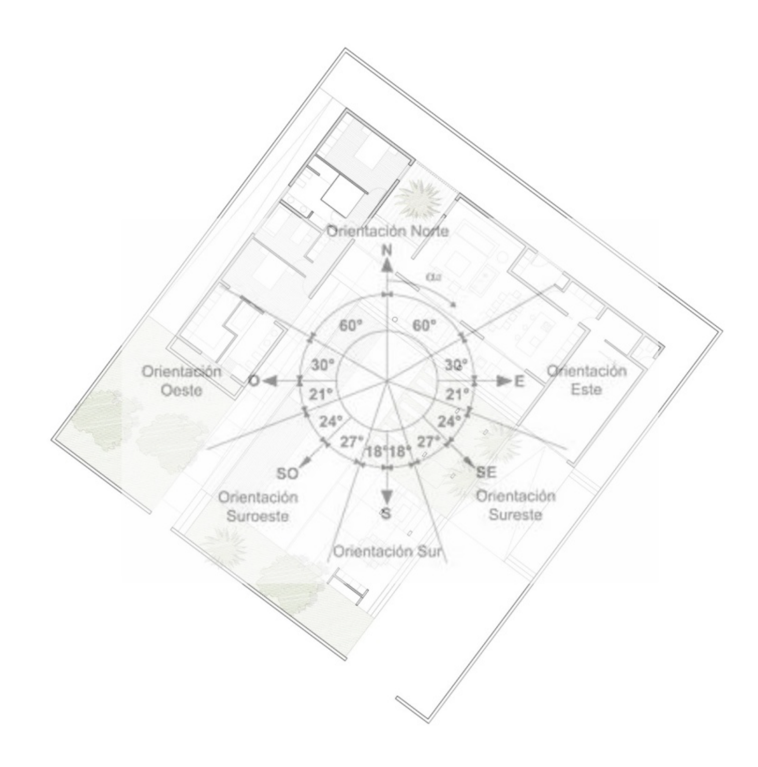


Figura 3. Ejemplo: orientación de las fachadas de una vivienda

2.8. Zona climática

Se define como la zona para la que el CTE establece unas solicitaciones exteriores comunes a efectos de cálculo de la demanda energética. Se identifica mediante una letra, correspondiente a la severidad climática de invierno, y un número, correspondiente a la severidad climática de verano. De la letra A a la E se endurece la severidad climática de invierno y, del número 1 al 4, la de verano. La tabla 1. Severidad climática muestra las combinaciones posibles de severidades climáticas y un ejemplo de ciudad para cada una de ellas.

Tabla 1. Severidad climática

		S.C. invierno				
		A	*B*	*C*	*D*	*E*
S.C. verano	1			Bilbao	Lugo	Burgos
	2			Barcelona	Salamanca	
	3	Cádiz	Castellón	Granada	Madrid	
	4	Almería	Alicante	Badajoz		

Las zonas climáticas están tabuladas en el Apéndice B del CTE DB HE1 y se determinan en función de la capital de provincia en la que se ubica el municipio y su altitud cModifica la Directiva 2009/125/ce y la Directiva 2010/30/ue sobre etiquetado de productos relacionados con la energía.Modifica la Directiva 2009/125/ce y la Directiva 2010/30/ue sobre etiquetado de productos relacionados con la energía. on respecto al nivel del mar (tabla 2. Zonas climáticas establecidas en el CTE DN HE 1 (Apéndice B)).

Tabla 2. Zonas climáticas establecidas en el CTE DN HE 1 (Apéndice B)

Zonas climáticas de la Península Ibérica

Zonas climáticas Península Ibérica

Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h ≥ 800			
Ávila	E1	1054														h < 550	h < 850	h ≥ 850
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h ≥ 450			
Barcelona	C2	1											h < 250			h < 450	h < 750	h ≥ 750
Bilbao/Bilbo	C1	214												h < 250			h ≥ 250	
Burgos	E1	861															h < 600	h ≥ 600
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0		h < 150				h < 450				h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18						h < 50				h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0						h < 50										
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h ≥ 500			
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550				h ≥ 550			
Coruña, La/ A Coruña	C1	0												h < 200			h ≥ 200	
Cuenca	D2	975													h < 800	h < 1050		h ≥ 1050
Gerona/Girona	D2	143											h < 100			h < 600		h ≥ 600
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300			h ≥ 1300
Guadalajara	D3	708													h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800			h ≥ 800			
Huesca	D2	432										h < 200			h < 400	h < 700		h ≥ 700
Jaén	C4	436					h < 350				h < 750				h < 1250			h ≥ 1250
León	E1	346																h < 1250
Lérida/Lleida	D3	131										h < 100			h < 600			h ≥ 600
Logroño	D2	379											h < 200			h < 700		h ≥ 700
Lugo	D1	412															h < 500	h ≥ 500
Madrid	D3	589										h < 500			h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Málaga	A3	0						h < 300				h < 700			h ≥ 700			
Melilla	A3	130																
Murcia	B3	25						h < 100				h < 550			h ≥ 550			
Orense/Ourense	D2	327										h < 150	h < 300			h < 800		h ≥ 800
Oviedo	D1	214												h < 50			h < 550	h ≥ 550
Palencia	D1	722															h < 800	h ≥ 800
Palma de Mallorca	B3	1						h < 250				h ≥ 250						
Pamplona/Iruña	D1	456											h < 100			h < 300	h < 600	h ≥ 600
Pontevedra	C1	77												h < 350			h ≥ 350	
Salamanca	D2	770														h < 800		h ≥ 800
San Sebastián/Donostia	D1	5															h < 400	h ≥ 400
Santander	C1	1												h < 150			h < 650	h ≥ 650
Segovia	D2	1013														h < 1000		h ≥ 1000
Sevilla	B4	9					h < 200				h ≥ 200							
Soria	E1	984														h < 750	h < 800	h ≥ 800
Tarragona	B3	1						h < 50				h < 500			h ≥ 500			
Teruel	D2	995										h < 450	h < 500			h < 1000		h ≥ 1000
Toledo	C4	445									h < 500				h ≥ 500			
Valencia/València	B3	8						h < 50				h < 500				h < 950		h ≥ 950
Valladolid	D2	704														h < 800		h ≥ 800
Vitoria/Gasteiz	D1	512															h < 500	h ≥ 500
Zamora	D2	617														h < 800		h ≥ 800
Zaragoza	D3	207										h < 200			h < 650			h ≥ 650
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1

Zonas climáticas de las Islas Canarias

Zonas climáticas Canarias

Capital	Z.C.	Altitud	α3	A2	B2	C2
Palmas de Gran Canaria, Las	α3	114	h < 350	h < 750	h < 1000	h ≥ 1000
Santa Cruz de Tenerife	α3	0	h < 350	h < 750	h < 1000	h ≥ 1000

2.9. Perfil de uso

Se define como la descripción hora a hora, para un año tipo, de las *cargas internas* y *temperaturas de consigna* de un espacio habitable. Está determinado por el uso del espacio habitable, su nivel de cargas internas y su periodo de utilización.

La carga interna es el conjunto de solicitaciones generadas en el interior del edificio, debidas, fundamentalmente, a los aportes de energía de los ocupantes (carga sensible por ocupación y carga latente por ocupación), los equipos eléctricos, la iluminación y la ventilación. Según el CTE, esta puede ser baja, media, alta o muy alta (ver tabla 3. Carga interna en función de la densidad de las fuentes internas).

Tabla 3. Carga interna en función de la densidad de las fuentes internas

Carga interna	*Densidad de las fuentes internas, C_{FI} [W/m²]*
Baja	< 6
Media	6 – 9
Alta	9 – 12
Muy alta	< 12

La temperatura de consigna viene definida por la temperatura o rango de temperaturas considerada en el cálculo de la demanda energética que fija el límite de temperatura interior a partir del cual operan los sistemas de acondicionamiento del edificio, requiriendo aportes energéticos.

El Apéndice C del CTE DB HE1 recoge los perfiles de uso normalizados de los edificios (solicitaciones interiores) en función de su uso, densidad de las fuentes internas (baja, media o alta) y periodo de utilización (8, 12, 16 y 24 horas). A modo de ejemplo, la figura 4. Perfiles para uso residencial muestra los perfiles de uso para el uso residencial.

USO RESIDENCIAL	(24h, BAJA)				
	1-7	8	9-15	16-23	24
Temp Consigna Alta (°C)					
Enero a Mayo	–	–	–	–	–
Junio a Septiembre	27	–	–	25	27
Octubre a Diciembre	–	–	–	–	–
Temp Consigna Baja (°C)					
Enero a Mayo	17	20	20	20	17
Junio a Septiembre	–	–	–	–	–
Octubre a Diciembre	17	20	20	20	17
Ocupación sensible (W/m²)					
Laboral	2,15	0,54	0,54	1,08	2,15
Sábado y Festivo	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Ocupación latente (W/m²)					
Laboral	1,36	0,34	0,34	0,68	1,36
Sábado y Festivo	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Iluminación (W/m²)					
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,2
Equipos (W/m²)					
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,2
Ventilación verano[1]					
Laboral, Sábado y Festivo	4,00	4,00	*	*	*
Ventilación invierno[2]					
Laboral, Sábado y Festivo	*	*	*	*	*

Figura 4. Perfiles para uso residencial

2.10. Edificio objeto y edificio de referencia

Para justificar el cumplimiento del CTE DB HE1 y DB HE0, la normativa exige la comparación del edificio objeto de estudio con el edificio de referencia. Si los valores de demanda energética y consumo energético son inferiores a los valores del edificio de referencia, el edificio objeto cumplirá las exigencias de ahorro de energía del CTE.

Se define el edificio objeto como le edificio tal cual ha sido proyectado en geometría (forma, tamaño y orientación), construcción y condiciones de uso, del que se quiere verificar el cumplimiento de la reglamentación.

El edificio de referencia es un edificio virtual obtenido a partir del edificio objeto, el cual se define con su misma forma, tamaño y orientación, zonificación

interior, uso de cada espacio, iguales obstáculos solares y unas soluciones constructivas con parámetros característicos iguales a los establecidos en el Apéndice D de DB HE1.

La definición del edificio de referencia queda recogida en el Apéndice D de DB HE1, mediante los parámetros característicos de la envolvente para cada una de las zonas climáticas (transmitancia de elementos opacos y factor solar de huecos). Obviamente, no se exige la misma transmitancia térmica a una fachada de un edificio ubicado en Burgos (zona climática E1) que a la de un edificio emplazado en Almería (zona climática A4). La figura 5. Parámetros característicos de la envolvente para la z.c. B3 (Apéndice D del CTE DB HE1) muestra como ejemplo los parámetros característicos exigibles a los edificios ubicados en la zona climática B3.

D.2.7 ZONA CLIMÁTICA B3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	U_{Mlim}: 0,82 W/m^2 K
Transmitancia límite de suelos	U_{Slim}: 0,52 W/m^2 K
Transmitancia límite de cubiertas	U_{Clim}: 0,45 W/m^2 K
Factor solar modificado límite de lucernarios	F_{Llim}: 0,30

	Transmitancia límite de huecos U_{Hlim} W/m^{2}K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
					Baja carga interna			Alta carga interna		
% de huecos	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,4	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,8	4,9	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	3,3	4,3	5,7	5,7	-	-	-	0,57	-	-
de 31 a 40	3,0	4,0	5,6	5,6	-	-	-	0,45	-	0,50
de 41 a 50	2,8	3,7	5,4	5,4	0,53	-	0,59	0,38	0,57	0,43
de 51 a 60	2,7	3,6	5,2	5,2	0,46	-	0,52	0,33	0,51	0,38

Figura 5. Parámetros característicos de la envolvente para la z.c. B3 (Apéndice D del CTE DB HE1)

3. Limitación del consumo energético

La limitación del consumo energético en los edificios surge con la entrada en vigor del nuevo CTE (modificación de septiembre de 2013) y se desarrolla a través de la Sección DB HE0. Este nuevo requisito del CTE tiene como objetivo el reducir el consumo de energía no renovable en los edificios.

3.1. Ámbito de aplicación

La sección HE0 es de aplicación en los siguientes casos:

- edificios de nueva construcción y ampliaciones de edificios existentes
- edificaciones o partes de las mismas que, por sus características de utilización, estén abiertas de forma permanente y sean acondicionadas.

Se excluyen del ámbito de aplicación:

- construcciones provisionales con un plazo previsto de utilización igual o inferior a dos años;
- edificios industriales, de la defensa y agrícolas o partes de los mismos, en la parte destinada a talleres, procesos industriales, de la defensa y agrícolas no residenciales;
- edificios aislados con una superficie útil total inferior a 50 m^2.

3.2. Exigencias

Las exigencias se establecen en función de dos casos:

- CASO 1: Edificios nuevos o ampliación de existentes de uso residencial privado

- CASO 2: Edificios nuevos o ampliación de existentes de uso distinto.

CASO 1: Edificios nuevos o ampliaciones de edificios existentes de uso residencial privado

El consumo energético de energía primaria no renovable del edificio o la parte ampliada, en su caso, no debe superar el valor límite $C_{ep,lim}$ obtenido mediante la siguiente expresión:

$$C_{ep,\mathrm{lim}} = C_{ep,base} + \frac{F_{ep,\mathrm{sup}}}{S}$$

donde,

$C_{ep,lim}$ es el valor límite del consumo energético de energía primaria no renovable para los servicios de calefacción, refrigeración y ACS, expresada en kW·h/m2·año, considerada la *superficie útil de los espacios habitables*;

$C_{ep,base}$ es el valor base del consumo energético de energía primaria no renovable, dependiente de la zona climática de invierno correspondiente a la ubicación del edificio, que toma los valores de la tabla 4. Valor base y factor corrector por superficie del consumo energético;

$F_{ep,sup}$ es el factor corrector por superficie del consumo energético de energía primaria no renovable, que toma los valores de la tabla 4. Valor base y factor corrector por superficie del consumo energético;

S es la superficie útil de los espacios habitables del edificio, o la parte ampliada, en m^2.

Tabla 4. Valor base y factor corrector por superficie del consumo energético

	Zona climática de invierno					
	α	A*	B*	C*	D	E
$C_{ep,base}$ [$kW·h/m^2·año$]	40	40	45	50	60	70
$F_{ep,sup}$	1000	1000	1000	1500	3000	4000

* Los valores de $C_{ep,base}$ para las zonas climáticas de invierno A, B y C de Canarias, Baleares, Ceuta y Melilla se obtendrán multiplicando los valores de $C_{ep,base}$ de esta tabla por 1,2.

CASO 2: Edificios nuevos o ampliaciones de edificios existentes de otros usos

La calificación energética para el indicador consumo energético de energía primaria del edificio o la parte ampliada, en su caso, debe ser de una eficiencia igual o superior a la clase B, según el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios aprobado mediante el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril.

Se entiende por *calificación energética* la letra que indica la clase de eficiencia energética para un indicador determinado (por ejemplo, consumo energético). En edificios nuevos la escala comprende, en orden de mayor a menor eficiencia, las calificaciones o clases A, B, C, D y E, extendiéndose hasta las calificaciones F y G para edificios existentes.

4. Limitación de la demanda energética

La limitación de la demanda energética surge con la entrada en vigor del CTE en el año 2006. Este nuevo requerimiento supuso un endurecimiento de los requisitos que debía cumplir la envolvente térmica de los edificios, en cuanto a resistencia térmica, con respecto a la normativa anteriormente vigente: la Norma Básica de Condiciones Térmicas (NBE-CT 79). El CTE de 2006 establecía unas transmitancias límite y máximas (W/m^2k) para cada elemento de la envolvente térmica (fachadas, medianeras, cubiertas, suelos y huecos) en función de la zona climática donde se ubicara el edificio.

Además, se establecían dos procedimientos para verificar el cumplimiento normativo: la opción simplificada y la opción general. En la opción simplificada bastaba con verificar que cada elemento de la envolvente térmica cumplía con las transmitancias exigidas y que no se producían condensaciones superficiales e intersticiales en ellos; pero esta únicamente podía utilizarse cuando el edificio cumplía una serie de condicionantes (tener una superficie de huecos en cada fachada inferior al 60 % y una superficie de lucernarios en cubierta inferior al 5 %). En cambio, la opción general, aplicable en todos los casos, empleaba un método más complejo

basado en simulación dinámica de edificios, que tenía en cuenta factores como la ocupación o las cargas térmicas por ganancia solar, entre otros parámetros. La verificación del cumplimiento se realizaba mediante comparación del edificio objeto con el edificio de referencia, mostrando el porcentaje del valor de la demanda energética del edificio objeto con respecto al de referencia. El hándicap residía en que dicho cálculo no mostraba el resultado como valor de demanda energética en kWh/m^2·año, sino como un porcentaje.

La modificación del CTE en septiembre de 2013, introdujo cambios severos en el planteamiento normativo, estableciendo unos valores límite de demanda energética que deben cumplir los edificios en función de la zona climática en la que se ubican y su superficie. Actualmente, el procedimiento de verificación únicamente puede llevarse a cabo mediante la opción general, es decir, mediante el uso de un software de simulación dinámica que reúna una serie de requisitos establecidos en el apartado 5.1.1 de la Sección DB HE1 de CTE.

4.1. Ámbito de aplicación

La sección HE1 es de aplicación en:

— edificios de nueva construcción

— intervenciones en edificios existentes:

- ampliación: aquellas en las que se incrementa la superficie o el volumen construido;
- reforma: cualquier trabajo u obra en un edificio existente distinto del que se lleve a cabo para el exclusivo mantenimiento del edificio;
- cambio de uso.

Se excluyen:

— edificios históricos protegidos cuando así lo determine el órgano competente que deba dictaminar en materia de protección histórico-artística;

— construcciones provisionales con un plazo previsto de utilización igual o inferior a dos años;

— edificios industriales, de la defensa y agrícolas o partes de los mismos, en la parte destinada a talleres y procesos industriales, de la defensa y agrícolas no residenciales;

— edificios aislados con una superficie útil total inferior a 50 m^2;

— edificaciones o partes de las mismas que, por sus características de utilización, estén abiertas de forma permanente;

— cambio del uso característico* del edificio cuando este no suponga una modificación de su perfil de uso.

4.2. Exigencias

La sección HE1 establece tres niveles de exigencia que deben satisfacer los edificios según su uso y nivel de intervención:

- CASO 1: Edificios de uso residencial privado
- CASO 2: Edificios de uso distinto al residencial privado
- CASO 3: Edificios existentes
  - 3a: intervención sobre un elemento con incremento de la demanda energética
  - 3b: intervención importante (renovación > 25 % envolvente)
  - 3c: intervención menor

Los niveles de exigencia son:

- Limitación de la demanda energética
- Limitación de la transmitancia térmica de la envolvente térmica
- Limitación de condensaciones

Tanto la limitación de la demanda energética como la de la transmitancia térmica de los elementos constituyentes de la envolvente térmica se describen en cada uno de los tres casos.

En cuanto a las condensaciones, tanto en edificaciones nuevas como en edificaciones existentes, en el caso de que se produzcan condensaciones intersticiales en la envolvente térmica del edificio, estas serán tales que no produzcan una merma significativa en sus prestaciones térmicas o supongan un riesgo de degradación o pérdida de su vida útil. Además, la máxima condensación acumulada en cada periodo anual no será superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

CASO 1: Edificios de uso residencial privado

La demanda energética de calefacción del edificio o la parte ampliada, en su caso, no debe superar el valor límite $D_{cal,lim}$ obtenido mediante la siguiente expresión:

$$D_{cal,\lim} = D_{cal,base} + \frac{F_{cal,\sup}}{S}$$

$D_{cal,lim}$ es el valor límite de la demanda energética de calefacción, expresada en kWh/m^2·año, considerada la superficie útil de los espacios habitables;

$D_{cal,base}$ es el valor base de la demanda energética de calefacción, para cada zona climática de invierno correspondiente al edificio, que toma los valores de la Tabla 5. Valor base y factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción;

$F_{cal,sup}$ es el factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción, que toma los valores de la Tabla 5. Valor base y factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción;

S es la superficie útil de los espacios habitables del edificio, en m^2.

Tabla 5. Valor base y factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
$D_{cal,base}$ [kW·h/m^2·año]	15	15	15	20	27	40
$F_{cal,sup}$	0	0	0	1000	2000	3000

La demanda energética de refrigeración del edificio o la parte ampliada, en su caso, no debe superar el valor límite $D_{ref,\,lim}$ = 15 kWh/m^2·año para las zonas climáticas de verano 1, 2 y 3, o el valor límite $D_{ref,\,lim}$ = 20 kWh/m^2·año para la zona climática de verano 4.

Por otro lado, la Sección HE1 establece una limitación de descompensaciones en edificios de uso residencial privado con el objeto de que todos los elementos de la envolvente térmica cumplan con unas transmitancias térmicas máximas que aseguren la calidad energética de la misma. Según la Tabla 6. Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica, estas son:

Tabla 6. Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica

Parámetro	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno[(1)] [W/m²•K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m²•K]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmitancia térmica de huecos[(2)] [W/m²•K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos[(3)] [m³/h·m²]	< 50	< 50	< 50	< 27	< 27	< 27

(1) Para elementos en contacto con el terreno, el valor indicado se exige únicamente al primer metro de muro enterrado, o el primer metro del perímetro de suelo apoyado sobre el terreno hasta una profundidad de 0,50m.

(2) Se considera el comportamiento conjunto de vidrio y marco. Incluye lucernarios y claraboyas.

(3) La permeabilidad de las carpinterías indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa.

Además, la transmitancia térmica de medianerías y particiones interiores que delimiten las unidades de uso residencial de otras de distinto uso o de zonas comunes del edificio, no superará los valores de la Tabla 7. Transmitancia térmica límite de particiones interiores, cuando delimiten unidades de distinto uso, zonas comunes, y medianerías, U en W/m2K. Cuando las particiones interiores delimiten unidades de uso residencial entre sí no se superarán los valores de la Tabla 8. Transmitancia térmica límite de particiones interiores, cuando delimiten unidades del mismo uso, U en W/m2K.

Tabla 7. Transmitancia térmica límite de particiones interiores, cuando delimiten unidades de distinto uso, zonas comunes, y medianerías, U en W/m²K

Tipo de elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Particiones horizontales y verticales	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70

Tabla 8. Transmitancia térmica límite de particiones interiores, cuando delimiten unidades del mismo uso, U en W/m²K

Tipo de elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Particiones horizontales	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1,00
Particiones verticales	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00

CASO 2: Edificios de otros usos

En edificios de uso distinto al residencial privado, el porcentaje de ahorro de la demanda energética conjunta de calefacción y refrigeración, respecto al edificio de referencia del edificio o la parte ampliada, en su caso, debe ser igual o superior al establecido en la Tabla 9. Porcentaje de ahorro mínimo de la demanda energética conjunta respecto al edificio de referencia para edificios de otros usos, en %.

Tabla 9. Porcentaje de ahorro mínimo de la demanda energética conjunta respecto al edificio de referencia para edificios de otros usos, en %

Zona climática de verano	Carga de las fuentes internas			
	Baja	Media	Alta	Muy alta
1, 2	25%	25%	25%	10%
3, 4	25%	20%	15%	0%*

* No debe superar la demanda límite del edificio de referencia

Los edificios que sean asimilables al uso residencial privado, debido a su uso continuado y baja carga de las fuentes internas, pueden justificar la limitación de la demanda energética mediante los criterios aplicables al uso residencial.

CASO 3. Edificios existentes

En edificios existentes también es de aplicación el DB HE1, sin embargo el nivel de exigencia varía en función del caso:

- Caso 3*a*: Cuando la intervención produzca modificaciones en las condiciones interiores o exteriores de un elemento de la envolvente térmica que supongan un incremento de la demanda energética del edificio, las características de este elemento se adecuarán a las establecidas en el CTE DB HE1.

- Caso 3*b*: En las obras de reforma en las que se renueve más del 25 % de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio y en las destinadas a un cambio de uso característico del edificio se limitará la demanda energética conjunta del edificio de manera que sea inferior a la del edificio de referencia.

- Caso 3*c*: En las obras de reforma no consideradas en el caso anterior, los elementos de la envolvente térmica que se sustituyan, incorporen, o modifiquen sustancialmente, cumplirán las limitaciones establecidas en la tabla 7. Cuando se intervenga simultáneamente en varios elementos de la envolvente térmica, se podrán superar los valores de transmitancia térmica de dicha tabla si la demanda energética resultante fuera igual o inferior a la obtenida aplicando los valores de la tabla a los elementos afectados.

Además, en edificios de uso residencial privado, la transmitancia térmica de las nuevas particiones interiores o aquellas que sean objeto de sustitución no superará los valores de la Tabla 7. Transmitancia térmica límite de particiones interiores, cuando delimiten unidades de distinto uso, zonas comunes, y medianerías, U en W/m2K cuando estas delimiten las unidades de uso residencial privado de otras de distinto uso o de zonas comunes del edificio, y los de la Tabla 8. Transmitancia térmica límite de particiones interiores, cuando delimiten unidades del mismo uso, U en W/m2K cuando delimiten unidades de uso residencial privado entre sí.

5. Procedimiento de verificación del DB HE0 y HE1

Para justificar el cumplimiento de la exigencia básica de limitación de la demanda energética, los documentos del Proyecto de Ejecución han de incluir la siguiente información:

- Definición de la zona climática

- Descripción del edificio:

  — Orientación
  — Definición de la envolvente térmica
  — Elementos afectados por la comprobación de limitación de descompensaciones
  — Distribución y uso de los espacios, propiedades higrotérmicas de los elementos

- Perfil de uso y nivel de acondicionamiento de los espacios habitables.

- Procedimiento de cálculo de la demanda energética empleado para la verificación DB.

- Valores de demanda energética y porcentaje de ahorro de la demanda energética respecto al edificio de referencia, en su caso.

- Características técnicas mínimas que deben cumplir los productos de construcción y la ejecución de la obras.

- Condensaciones intersticiales: verificación.

Además, para justificar el cumplimiento del DB HE0, se deberá incluir:

- Demanda energética de los distintos servicios técnicos del edificio (calefacción, refrigeración, ACS y, en su caso, iluminación).

- Descripción y disposición de los sistemas empleados para satisfacer las necesidades de los distintos servicios técnicos del edificio.

- Rendimientos considerados para los distintos equipos. En caso de que en proyecto no se definan equipos para un servicio de climatización, se tomarán los datos de la Tabla 10. Eficiencias de los sistemas de referencia.

Tabla 10. Eficiencias de los sistemas de referencia

Tecnología	Vector energético	Rendimiento
Producción de calor	Gas natural	0,9
Producción de frío	Electricidad	2,0

- Factores de conversión de energía final a energía primaria empleados (ver Tabla 11. Factores de paso de energía final (Fuente: Herramienta Unificada LIDER-CALENER versión 0.9.958.791)).

Tabla 11. Factores de paso de energía final (Fuente: Herramienta Unificada LIDER-CALENER versión 0.9.958.791)

	Factores de paso de Energía Final		
Energético	a Energía Primaria Total	a Energía Primaria No Renovable	a Emisiones de CO2 (kgCO2/kWh)
Electricidad	2,603	2,603	0,649
Gas Natural	1,011	1,011	0,204
Gasoleo	1,081	1,081	0,287
Fuel-oil	1,081	1,081	0,280
GLP	1,081	1,081	0,244
Carbon	1,000	1,000	0,347
Biomasa densificada (pelets)	1,000	0,085	0,000
Biomasa (otro tipo)	1,000	0,034	0,000

- Para uso residencial privado, consumo de energía procedente de fuentes de energía no renovables.

- Para edificios de uso distinto al residencial privado, calificación energética para el indicador de energía primaria.

6. Concepto de transmitancia térmica

La conductividad térmica (λ [W/mK]) es la propiedad física de los materiales que indica su comportamiento frente a la conducción de calor. Se define como la cantidad de calor que atraviesa un material en condiciones unitarias de tiempo, espesor y diferencia de temperatura, según la expresión:

$$\lambda = \frac{\Phi \cdot e}{S \cdot \Delta t \cdot \Delta T} \ \text{[W/mK]}$$

Donde,

Φ cantidad de calor en vatios (W)

e espesor en metros (m)

S superficie en metros cuadrados (m^2)

Δt tiempo en segundos (s)

ΔT diferencia de temperatura entre sus caras en grados Kelvin (K)

La conductividad térmica por sí sola no es suficiente para caracterizar un material, puesto que no todos los materiales tienen un espesor unitario de 1 m. Por ello recurrimos al concepto de resistencia térmica. La resistencia térmica R [m^2K/W] representa la dificultad que ofrece al paso del calor un material de superficie unitaria cuando la diferencia de T entre sus caras también es unitaria. La R se calcula mediante la expresión:

$$R = \frac{e}{\lambda} \ [\text{m}^2\text{K/W}]$$

Donde,

e espesor en metros

λ conductividad térmica en W/mK

La transmitancia térmica U [W/m^2K] de los sistemas constructivos indica la cantidad de calor que atraviesa un elemento constructivo homogéneo (sin discontinuidades ni puentes térmicos) de superficie unitaria cuando la diferencia de temperatura entre sus caras también es unitaria. La transmitancia térmica viene dada por la siguiente expresión, siendo la inversa de la resistencia térmica.

$$U = \frac{1}{R_T} \ [\text{W/m}^2\text{K}]$$

Donde,

R_T resistencia térmica total del componente constructivo [m^2K/W]

Estas propiedades físicas, relacionadas con la conducción de calor, las podemos encontrar en las fichas técnicas de los materiales proporcionadas por los fabricantes o en documentos oficiales como es, por ejemplo, el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE, accesible desde su página web oficial.

7. Parámetros característicos de elementos opacos

El método de cálculo de los parámetros característicos de los diferentes elementos de la envolvente térmica se recoge en el Documento de Apoyo al DB HE (DA DB HE/1). La tabla 12 sintetiza el método de cálculo a emplear según cada elemento, así como propone una nomenclatura para los distintos elementos. En la figura 6 puede identificarse, a modo de ejemplo, el método de cálculo que debería utilizarse para cada uno de los elementos de la envolvente térmica.

Tabla 12. Método de cálculo de los elementos de la envolvente térmica según DA DB HE/1

Adyacencia	*Elemento constructivo*	*Codificación*	*Método de cálculo*
Cerramientos en contacto con el aire exterior	Fachadas	F	DA DB HE/1 (Apartado 2.1.1)
	Medianeras	MD	DA DB HE/1 (Apartado 2.1.1)
	Cubiertas	C	DA DB HE/1 (Apartado 2.1.1)
	Suelos en contacto con el exterior	S	DA DB HE/1 (Apartado 2.1.1)
Cerramientos en contacto con el terreno	Suelos en contacto con el terreno - CASO 1: p≤0,50m - CASO 2: p>0,50m	S_T	DA DB HE/1 (Apartado 2.1.2.1)
	Muros en contacto con el terreno	M_T	DA DB HE/1 (Apartado 2.1.2.2)
	Cubiertas enterradas	C_T	DA DB HE/1 (Apartado 2.1.2.3)
Particiones interiores en contacto con espacios no habitables	Particiones interiores (excepto forjados sanitarios) - CASO 1: estq. 1, 2 o 3 - CASO 2: estq. 4 o 5	P_{NH}	DA DB HE/1 (Apartado 2.1.3.1)
	Suelos en contacto con cámaras sanitarias (forjados sanitarios)	S_{NH}	DA DB HE/1 (Apartado 2.1.3.2)

p, profundidad; estq., estanqueidad.

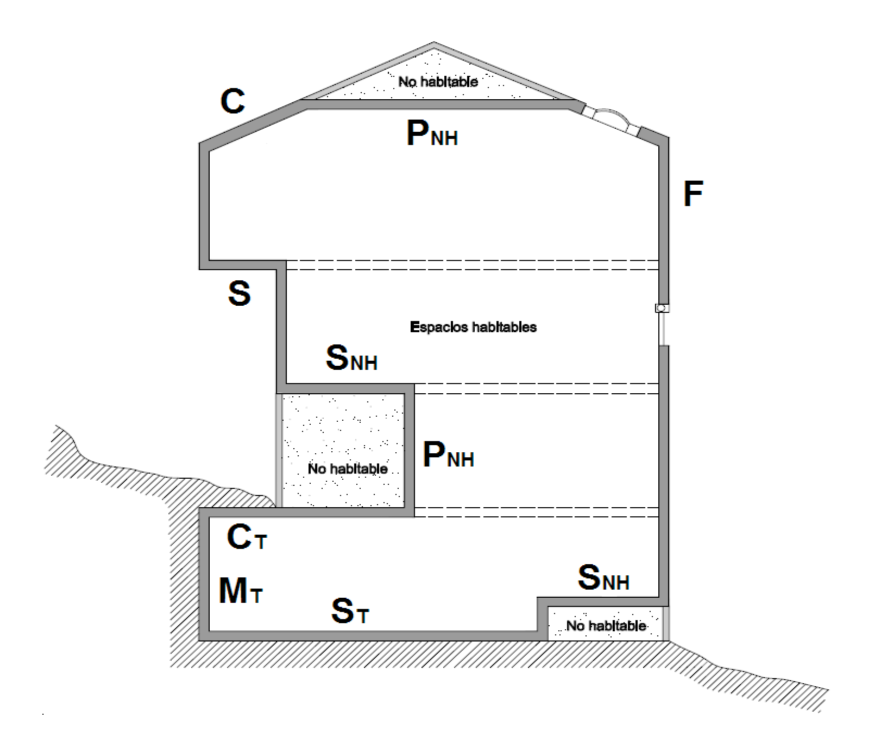


Figura 6. Elementos de la envolvente térmica del edificio

En los próximos apartados se describe el procedimiento de cada uno de los métodos de cálculo a emplear para determinar la transmitancia térmica de los elementos de la envolvente térmica.

7.1. Cerramientos en contacto con el aire exterior y medianeras

Este cálculo es aplicable a la parte opaca de todos los cerramientos en contacto con el aire exterior tales como muros de fachada, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior; y medianeras.

La resistencia térmica total R_T de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas se calcula mediante la expresión:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + ... + R_n + R_{se}$$

Siendo,

$R_1, R_2, \ldots, R_n$ resistencias térmicas de cada capa

R_{si} resistencia térmica superficial interior

R_{se} resistencia térmica superficial interior

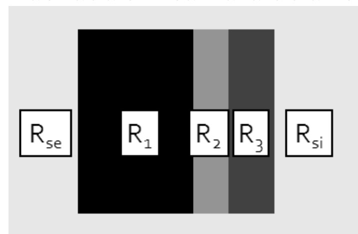
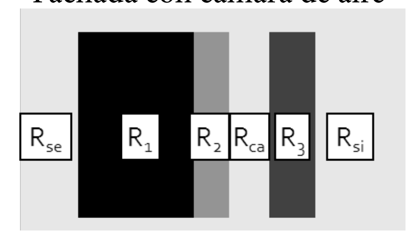
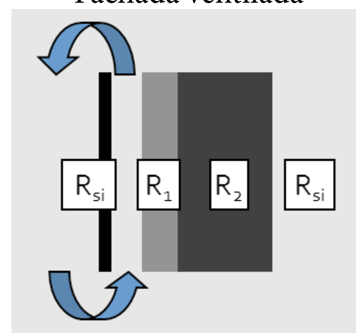
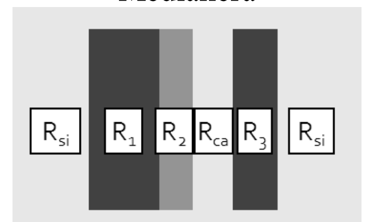
Las resistencias térmica superficiales interior y exterior se toman de la tabla 13. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en [m2K/W], de acuerdo con la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio [m^2K/W].

Tabla 13. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en [m^2K/W]

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo Horizontal	0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente (Techo)	0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)	0,04	0,17

La cámara de aire juega un papel importante en la transmitancia térmica de los elementos, confiriéndoles cierta resistencia térmica que debe ser considerada. Dependiendo de si los cerramientos tienen cámara de aire o no y de la posición que esta ocupa en el cerramiento (intercalada entre las capas o constituyendo una cámara ventilada), el método de cálculo varía según las expresiones formuladas en la tabla 14.

Tabla 14. Transmitancia térmica de cerramientos opacos en contacto con el aire exterior y medianeras

Tipo de elemento	*Expresión*
Fachada sin cámara de aire 	$$U = \frac{1}{R_{si} + \Sigma R + R_{se}}$$
Fachada con cámara de aire 	$$U = \frac{1}{R_{si} + \Sigma R_{int} + R_{a} + \Sigma R_{ext} + R_{se}}$$
Fachada ventilada 	$$U = \frac{1}{R_{si} + \Sigma R_{int} + R_{si}}$$ En fachadas ventiladas se consideran ambas R_s como interiores y únicamente se tiene en cuenta la R de las capas interiores (R_{int}), es decir, a partir de la cámara de aire hasta la capa más interna.
Medianera 	$$U = \frac{1}{R_{si} + \Sigma R_{int} + (R_{a}) + \Sigma R_{ext} + R_{si}}$$ La U_{MD} se calcula como un cerramiento en contacto con el aire exterior pero considerando ambas R_s como interiores. Si la medianera tiene cámara de aire, deberá tenerse en cuenta la R_{ca}

Las cámaras de aire pueden ser caracterizadas por su resistencia térmica, según las siguientes tipologías:

a) cámara de aire sin ventilar: aquella en la que no existe ningún sistema específico para que el flujo del aire pase a través de ella. Una cámara de aire que no tenga aislamiento entre ella y el ambiente exterior, pero con pequeñas aberturas al exterior puede también considerarse como cámara de aire sin ventilar, si esas aberturas no permiten el flujo de aire a través de la cámara y no exceden:

1. 500 mm^2 por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales;
2. 500 mm^2 por m^2 de superficie para cámaras de aire horizontales.

La resistencia térmica de las cámaras de aires sin ventilar viene definida en la Tabla 15. Resistencia térmica de cámaras de aire [m2K/W] en función de su espesor. Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

b) cámara de aire ligeramente ventilada: aquella en la que no existe un dispositivo para el flujo de aire limitado a través de ella desde el ambiente exterior, pero con aberturas dentro de los siguientes rangos:

1. 500 mm^2 < Saberturas ≤ 1500 mm^2 por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales;

2. 500 mm^2 < Saberturas ≤ 1500 mm^2 por m^2 de superficie para cámaras de aire horizontales.

   La resistencia térmica de una cámara de aire ligeramente ventilada es la mitad de los valores de la Tabla 15. Resistencia térmica de cámaras de aire [m2K/W].

c) cámara de aire muy ventilada: aquella en que los valores de las aberturas exceden:

1. 1500 mm^2 por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales;

2. 1500 mm^2 por m^2 de superficie para cámaras de aire horizontales.

   Para cámaras de aire muy ventiladas, la resistencia térmica total del cerramiento se obtiene despreciando la resistencia térmica de la cámara de aire y las de las demás capas entre la cámara de aire y el ambiente exterior, e incluyendo una resistencia superficial exterior correspondiente al aire en calma, igual a la resistencia superficial interior del mismo elemento.

Tabla 15. Resistencia térmica de cámaras de aire [m^2K/W]

Espesor e (m)	*Sin ventilar*	
	Horizontal	Vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

7.2. Suelos en contacto con el terreno

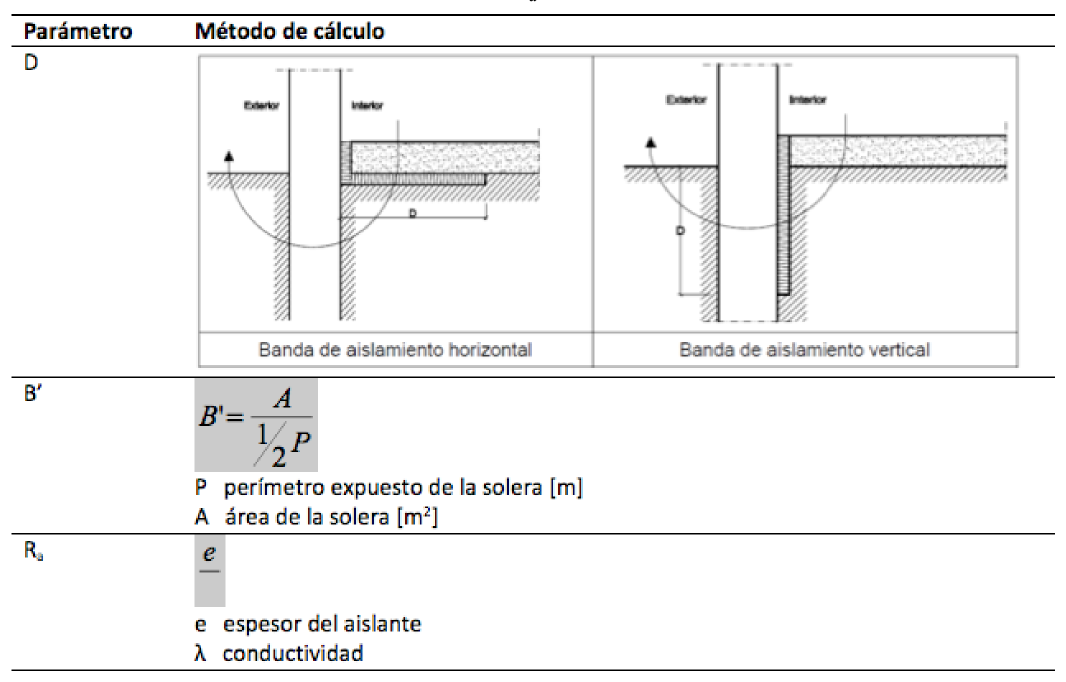
Se diferencian dos casos:

- CASO 1: soleras o losas apoyadas a una profundidad ≤ 0,50m
- CASO 2: soleras o losas apoyadas a una profundidad > 0,50m

CASO 1

La U se obtiene de la tabla 17 en función del ancho D de la banda de aislamiento perimetral, de la resistencia térmica del aislante R_a y de la longitud característica B' de la solera o losa. Estos tres parámetros se determinan según la tabla 16.

Tabla 16. Determinación de D, B' y R_a para suelos en contacto con el terreno



Parámetro	Método de cálculo
D	Exterior / Interior / D — Banda de aislamiento horizontal; Exterior / Interior / D — Banda de aislamiento vertical
B'	$B' = \frac{A}{\frac{1}{2}P}$ P perímetro expuesto de la solera [m] A área de la solera [m²]
R_a	$\frac{e}{\ }$ e espesor del aislante λ conductividad

ISBN: 978-84-16546-24-4

DOI: http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia124

Tabla 17. Transmitancia térmica U de suelos en contacto con el terreno [W/m²K] (CASO 1)

		D = 0.5 m					D = 1.0 m					D ≥ 1.5 m				
	R_a	R_a (m²·K/ W)					R_a (m²·K/ W)					R_a (m²·K/ W)				
B'	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-
2	1,56	1,17	1,04	0,97	0,92	0,89	1,08	0,89	0,79	0,72	0,67	1,04	0,83	0,70	0,61	0,55
3	1,20	0,94	0,85	0,80	0,78	0,76	0,88	0,76	0,69	0,64	0,61	0,85	0,71	0,63	0,57	0,53
4	0,99	0,79	0,73	0,69	0,67	0,65	0,75	0,65	0,60	0,57	0,54	0,73	0,62	0,56	0,51	0,48
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37
8	0,60	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,30	0,28	0,27
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23
18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
≥20	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,20	0,20

Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

Para soleras o losas sin aislamiento térmico la transmitancia térmica Us se toma de la columna Ra = 0 m2·K/W en función de su longitud característica B'.

Para soleras o losas con aislamiento continuo en toda su superficie se toman los valores de la columna D ≥ 1,5 m.

La transmitancia térmica del primer metro de losa o solera se obtiene de la fila B' = 1.

CASO 2

La transmitancia térmica U se obtiene de la tabla 18. Transmitancia térmica U de suelos en contacto con el terreno [W/m2K] (CASO 2) en función de la profundidad z de la solera o losa respecto el nivel del terreno (ver figura 7. Determinación de z en suelos enterrados), de su resistencia térmica R_f calculada mediante la expresión $R_T = R_1 + R_2 + ... + R_n$ (despreciando las R_s), y la longitud característica B'.

Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

Tabla 18. Transmitancia térmica U de suelos en contacto con el terreno [W/m²K] (CASO 2)

	0,5 m < z ≤ 1,0 m Rf (m²·K/W)				1,0 m < z ≤ 2,0 m Rf (m²·K/W)				2,0 m < z ≤ 3,0 m Rf (m²·K/W)				z > 3,0 m Rf (m²·K/W)			
B'	**0,00**	**0,50**	**1,00**	**1,50**	**0,00**	**0,50**	**1,00**	**1,50**	**0,00**	**0,50**	**1,00**	**1,50**	**0,00**	**0,50**	**1,00**	**1,50**
1	1,51	1,07	0,84	0,69	1,14	0,88	0,72	0,61	0,78	0,65	0,56	0,49	0,59	0,51	0,46	0,41
2	1,09	0,82	0,67	0,57	0,87	0,70	0,59	0,51	0,63	0,54	0,47	0,42	0,50	0,44	0,40	0,36
3	0,87	0,68	0,57	0,49	0,71	0,59	0,50	0,44	0,53	0,47	0,41	0,37	0,43	0,39	0,35	0,32
4	0,74	0,59	0,49	0,43	0,61	0,51	0,44	0,39	0,47	0,41	0,37	0,34	0,39	0,35	0,32	0,29
5	0,64	0,52	0,44	0,39	0,54	0,45	0,40	0,36	0,42	0,37	0,34	0,31	0,35	0,32	0,29	0,27
6	0,57	0,46	0,40	0,35	0,48	0,41	0,36	0,33	0,38	0,34	0,31	0,28	0,32	0,29	0,27	0,25
7	0,52	0,42	0,37	0,33	0,44	0,38	0,33	0,30	0,35	0,31	0,29	0,26	0,30	0,27	0,25	0,24
8	0,47	0,39	0,34	0,30	0,40	0,35	0,31	0,28	0,33	0,29	0,27	0,25	0,28	0,26	0,24	0,22
9	0,43	0,36	0,32	0,28	0,37	0,32	0,29	0,26	0,30	0,27	0,25	0,23	0,26	0,24	0,22	0,21
10	0,40	0,34	0,30	0,27	0,35	0,30	0,27	0,25	0,29	0,26	0,24	0,22	0,25	0,23	0,21	0,20
12	0,36	0,30	0,27	0,24	0,31	0,27	0,24	0,22	0,26	0,23	0,21	0,20	0,22	0,21	0,19	0,18
14	0,32	0,27	0,24	0,22	0,28	0,25	0,22	0,20	0,23	0,21	0,20	0,18	0,20	0,19	0,18	0,17
16	0,29	0,25	0,22	0,20	0,25	0,23	0,20	0,19	0,21	0,20	0,18	0,17	0,19	0,17	0,16	0,16
18	0,26	0,23	0,20	0,19	0,23	0,21	0,19	0,18	0,20	0,18	0,17	0,16	0,17	0,16	0,15	0,15
≥20	0,24	0,21	0,19	0,17	0,22	0,19	0,18	0,16	0,18	0,17	0,16	0,15	0,16	0,15	0,14	0,14

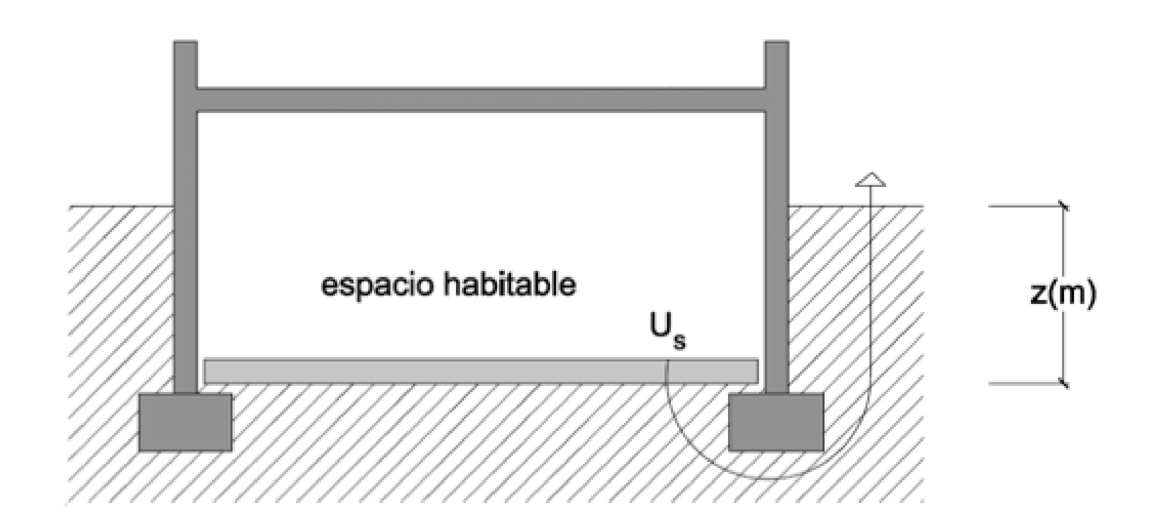


Figura 7. Determinación de z en suelos enterrados

7.3. Muros en contacto con el terreno

La transmitancia térmica U de los muros o pantallas en contacto con el terreno se obtiene de la Tabla 19. Transmitancia térmica U de muros enterrados [W/m2K] en función de su profundidad z (Figura 8. Determinación de z en muro en contacto con el terreno (izquierda) y muro enterrado con variación de composición (de-

recha)), y de la resistencia térmica del muro R_m calculada mediante la expresión $R_T = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$ (despreciando las R_s).

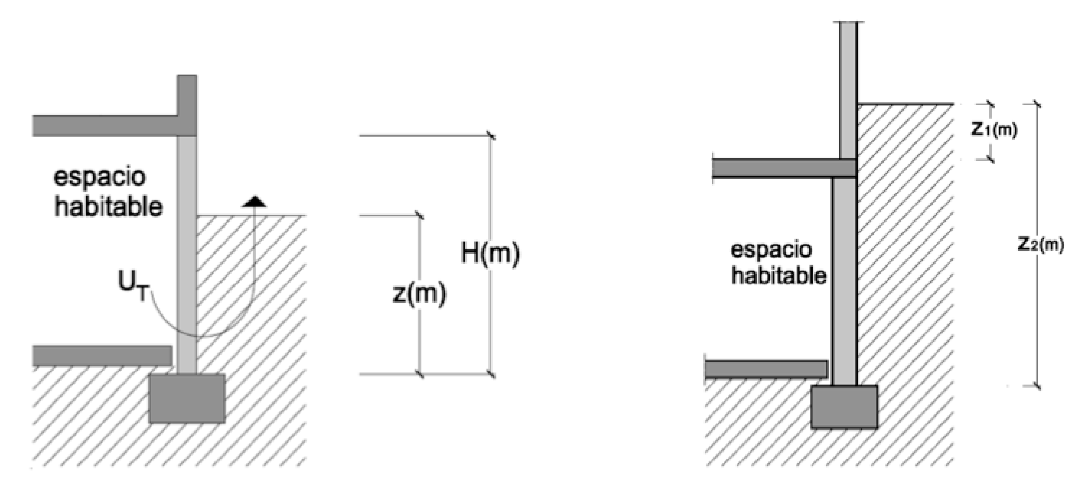


Figura 8. Determinación de z en muro en contacto con el terreno (izquierda) y muro enterrado con variación de composición (derecha)

Tabla 19. Transmitancia térmica U de muros enterrados [W/m^{2}K]

Rm (m² K/W)	Profundidad z de la parte enterrada del muro (m)					
	0,5	**1**	**2**	**3**	**4**	**≥ 6**
0,00	3,05	2,20	1,48	1,15	0,95	0,71
0,10	2,29	1,74	1,22	0,97	0,81	0,62
0,20	1,84	1,45	1,06	0,85	0,72	0,56
0,30	1,55	1,25	0,93	0,76	0,65	0,51
0,40	1,33	1,10	0,84	0,69	0,60	0,47
0,50	1,17	0,99	0,77	0,64	0,55	0,44
0,60	1,05	0,90	0,71	0,59	0,52	0,42
0,70	0,95	0,82	0,66	0,56	0,49	0,39
0,80	0,87	0,76	0,61	0,52	0,46	0,38
0,90	0,80	0,70	0,58	0,49	0,44	0,36
1,00	0,74	0,65	0,54	0,47	0,42	0,34
1,10	0,69	0,61	0,51	0,45	0,40	0,33
1,20	0,64	0,58	0,49	0,42	0,38	0,32
1,30	0,60	0,55	0,46	0,41	0,36	0,30
1,40	0,57	0,52	0,44	0,39	0,35	0,29
1,50	0,54	0,49	0,42	0,37	0,34	0,28
1,60	0,51	0,47	0,40	0,36	0,32	0,28
1,70	0,49	0,45	0,39	0,35	0,31	0,27
1,80	0,46	0,43	0,37	0,33	0,30	0,26
1,90	0,44	0,41	0,36	0,32	0,29	0,25
2,00	0,42	0,39	0,35	0,31	0,28	0,24

En el caso de muros cuya composición varíe con la profundidad, la transmitancia térmica se obtiene de la expresión:

$$U_T = \frac{U_1 \cdot z_1 + U_2 \cdot z_2 - U_{12} \cdot z_1}{z_2}$$

Siendo,

z_1, z_2 la profundidad del primer y el segundo tramo respectivamente [m];

U_1 la transmitancia térmica del primer tramo del muro, obtenida de la tabla 5 para una *profundidad* $z = z_1$ y *una resistencia térmica* $R_m = R_1$ *[W/m²·K]*;

U_2 la transmitancia térmica obtenida de la Tabla 19. Transmitancia térmica U de muros enterrados [W/m2K] de un muro hipotético de profundidad $z = z_2$ y resistencia térmica $R_m = R_2$ *[W/m²·K]*;

U_{12} la transmitancia térmica obtenida de la Tabla 19. Transmitancia térmica U de muros enterrados [W/m2K] de un muro hipotético de profundidad $z = z_1$ y resistencia térmica $R_m = R_2$ *[W/m²·K]*.

7.4. Cubiertas enterradas

La transmitancia térmica U de las cubiertas enterradas se obtiene mediante el procedimiento descrito en el apartado «Cerramientos en contacto con el aire exterior y medianeras», considerando el terreno como otra capa térmicamente homogénea de conductividad $\lambda = 2$ W/mK.

7.5. Particiones interiores (excepto forjados sanitarios)

Se consideran en este apartado el caso de cualquier partición interior en contacto con un espacio no habitable que a su vez esté en contacto con el exterior, excepto los suelos en contacto con cámaras sanitarias.

a La transmitancia térmica *U* viene dada por la expresión:

$$U = U_p \cdot b$$

Siendo,

U_p la transmitancia térmica de la partición interior en contacto con el espacio no habitable, calculada según la siguiente expresión, tomando como resistencias superficiales los valores de la tabla 20.

$$U_p = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + ... + R_n + R_{se}}$$

Tabla 20. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en particiones interiores en m^2K/W

Posición de la *partición interior* y sentido del flujo de calor	R_{se}	R_{si}
Particiones interiores verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal	0,13	0,13
Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente (Techo)	0,10	0,10
Particiones interiores horizontales y flujo descendente (Suelo)	0,17	0,17

b el coeficiente de reducción de temperatura (relacionado al espacio no habitable) obtenido por la Tabla 21. Coeficiente de reducción de temperatura b para los casos concretos que se citan o mediante el procedimiento descrito.

El coeficiente de reducción de temperatura b para espacios adyacentes no habitables (trasteros, despensas, garajes adyacentes...) y espacios no acondicionados bajo cubierta inclinada se puede obtener de la Tabla 21. Coeficiente de reducción de temperatura b en función de la situación del aislamiento térmico (ver Figura 9. Espacios habitables en contacto con espacios no habitables), del grado de ventilación del espacio y de la relación de áreas entre la partición interior y el cerramiento (A_{h-nh}/A_{nh-e}), donde el subíndice $_{nh-e}$ se refiere al cerramiento entre el espacio no habitable y el exterior; el subíndice $_{h-nh}$ se refiere a la partición interior entre el espacio habitable y el espacio no habitable. Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

Tabla 21. Coeficiente de reducción de temperatura b

	No aislado$_{nh-e}$- Aislado$_{h-nh}$		No aislado$_{nh-e}$-No aislado$_{h-nh}$		Aislado$_{nh-e}$-No aislado$_{h-nh}$	
A_{h-nh}/A_{nh-e}	**CASO 1**	**CASO 2**	**CASO 1**	**CASO 2**	**CASO 1**	**CASO 2**
<0,25	0,99	1,00	0,94	0,97	0,91	0,96
0,25 ≤0,50	0,97	0,99	0,85	0,92	0,77	0,90
0,50 ≤0,75	0,96	0,98	0,77	0,87	0,67	0,84
0,75 ≤1,00	0,94	0,97	0,70	0,83	0,59	0,79
1,00 ≤1,25	0,92	0,96	0,65	0,79	0,53	0,74
1,25 ≤2,00	0,89	0,95	0,56	0,73	0,44	0,67
2,00 ≤2,50	0,86	0,93	0,48	0,66	0,36	0,59
2,50 ≤3,00	0,83	0,91	0,43	0,61	0,32	0,54
>3,00	0,81	0,90	0,39	0,57	0,28	0,50

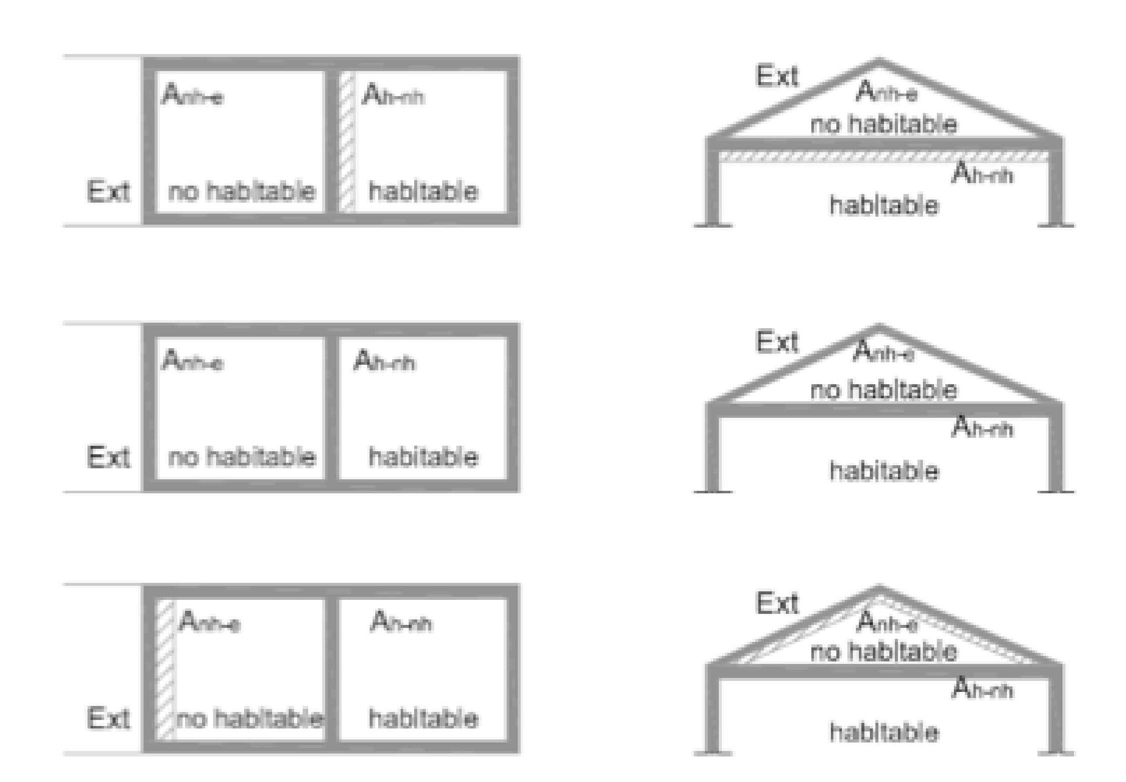


Figura 9. Espacios habitables en contacto con espacios no habitables

Se distinguen dos casos de ventilación, a los que se refiere la Tabla 21. Coeficiente de reducción de temperatura b, cuyas características están especificadas en la Tabla 22. Niveles de ventilación de los espacios no habitables.

Tabla 22. Niveles de ventilación de los espacios no habitables

Caso	*Ventilación*	*Nivel estanqueidad*	*Tasa renovación*	*Características*
CASO 1 (Espacio ligeramente ventilado)	Nula	1	0	Ni puertas, ni ventanas, ni aberturas de ventilación
	Baja	2	0,5	Todos los componentes sellados, sin aberturas de ventilación
CASO 2 (Espacio muy ventilado)	Media	3	1	Todos los componentes bien sellados, pequeñas aberturas de ventilación
	Alta	4	5	Poco estanco, a causa de juntas abiertas o presencia de aberturas de ventilación permanentes
	Muy alta	5	10	Poco estanco, con numerosas juntas abiertas o aberturas de ventilación permanentes grandes o numerosas

7.6. Suelos en contacto con cámaras sanitarias (forjados sanitarios)

Este apartado es aplicable para cámaras de aire ventiladas por el exterior que cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

a) que tengan una altura h inferior o igual a 1 m;

b) que tengan una profundidad z respecto al nivel del terreno inferior o igual a 0,5 m.

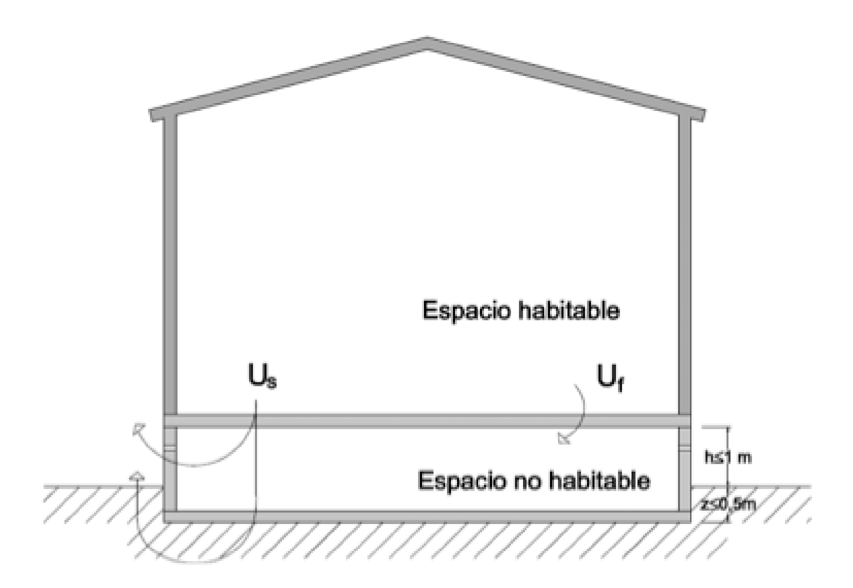


Figura 10. Cámaras sanitarias

En caso de no cumplirse la condición a), pero sí la b), la transmitancia del cerramiento en contacto con la cámara se puede calcular mediante el procedimiento descrito en el apartado «Cerramientos en contacto con el aire exterior y medianeras».

En caso de no cumplirse la condición b), la transmitancia del cerramiento se puede calcular mediante la definición general del coeficiente b descrito en el apartado «Particiones interiores (excepto forjados sanitarios)».

La transmitancia térmica del suelo sanitario U viene dada por la Tabla 23. Transmitancia térmica U de forjados sanitarios [W/m2K], en función longitud característica B' del suelo en contacto con la cámara y su resistencia térmica R_f.

Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

Tabla 23. Transmitancia térmica U de forjados sanitarios [W/m²K]

	R_f (m²K/W)						
B'	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1	9,38	1,65	0,90	0,62	0,47	0,38	0,29
2	5,35	1,46	0,84	0,59	0,46	0,37	0,28
3	3,88	1,32	0,80	0,57	0,44	0,36	0,28
4	3,11	1,22	0,76	0,55	0,43	0,35	0,27
5	2,63	1,14	0,72	0,53	0,42	0,35	0,27
6	2,30	1,07	0,70	0,52	0,41	0,34	0,27
7	2,06	1,01	0,67	0,50	0,40	0,33	0,26
8	1,87	0,97	0,65	0,49	0,39	0,33	0,26
9	1,73	0,93	0,63	0,48	0,39	0,32	0,26
10	1,61	0,89	0,62	0,47	0,38	0,32	0,26
12	1,43	0,83	0,59	0,45	0,37	0,31	0,25
14	1,30	0,79	0,57	0,44	0,36	0,31	0,25
16	1,20	0,75	0,55	0,43	0,35	0,30	0,25
18	1,12	0,72	0,53	0,42	0,35	0,29	0,25
20	1,06	0,69	0,51	0,41	0,34	0,29	0,25
22	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,29	0,25
24	0,96	0,65	0,49	0,39	0,33	0,28	0,24
26	0,92	0,63	0,48	0,39	0,32	0,28	0,24
28	0,89	0,61	0,47	0,38	0,32	0,28	0,24
30	0,86	0,60	0,46	0,38	0,32	0,27	0,24
32	0,83	0,59	0,45	0,37	0,31	0,27	0,23
34	0,81	0,58	0,45	0,37	0,31	0,27	0,23
≥36	0,79	0,57	0,44	0,36	0,31	0,27	0,23

8. Parámetros característicos de huecos

Los huecos constituyen el elemento de la envolvente a través del cual el edificio ventila y recibe ganancias solares. Hay tres aspectos a tener en cuenta para la correcta caracterización de los huecos: la transmitancia térmica conjunta de maros y vidrios, el factor solar modificado y la permeabilidad al aire de las carpinterías.

8.1. Transmitancia térmica de huecos

El cálculo de la transmitancia térmica de huecos y lucernarios queda regulada por el Documento de Apoyo al DB HE (DA DB HE1), que determina su cálculo mediante la expresión:

$$U_{H,v} = (1 - FM).U_{H,v} + FM.U_{H,m}$$

siendo,

$U_{H,v}$ la transmitancia térmica de la parte semitransparente [W/m²·K];

$U_{H,m}$ la transmitancia térmica del marco de la ventana o lucernario, o puerta [W/m²·K];

FM la fracción del hueco ocupada por el marco.

8.2. Factor solar modificado

A pesar de que los vidrios son el elemento a través del cual la radiación solar entra en el interior del edificio, no siempre el 100 % de la radiación consigue penetrar a través de ellos. Parte de dicha radiación puede quedar bloqueada por el propio vidrio y/o por otros elementos presentes en las inmediaciones del hueco que actúan como obstáculos o protecciones solares.

El factor solar de un vidrio indica la cantidad de energía que lo atraviesa por el hecho de recibir la radiación solar sobre su superficie. Es el cociente entre la radiación que se introduce en el edificio a través del acristalamiento y la que se introduciría si no hubiera acristalamiento ni carpintería (figura 6). Unos vidrios sin características especiales suelen tener valores de factor solar comprendidos entre 0,70 y 0,85, mientras que unos vidrios con bajo factor solar pueden llegar a alcanzar valores inferiores a 0,50. Cuanto más bajo sea el factor solar del vidrio, menor cantidad de radiación penetrará a través de este.

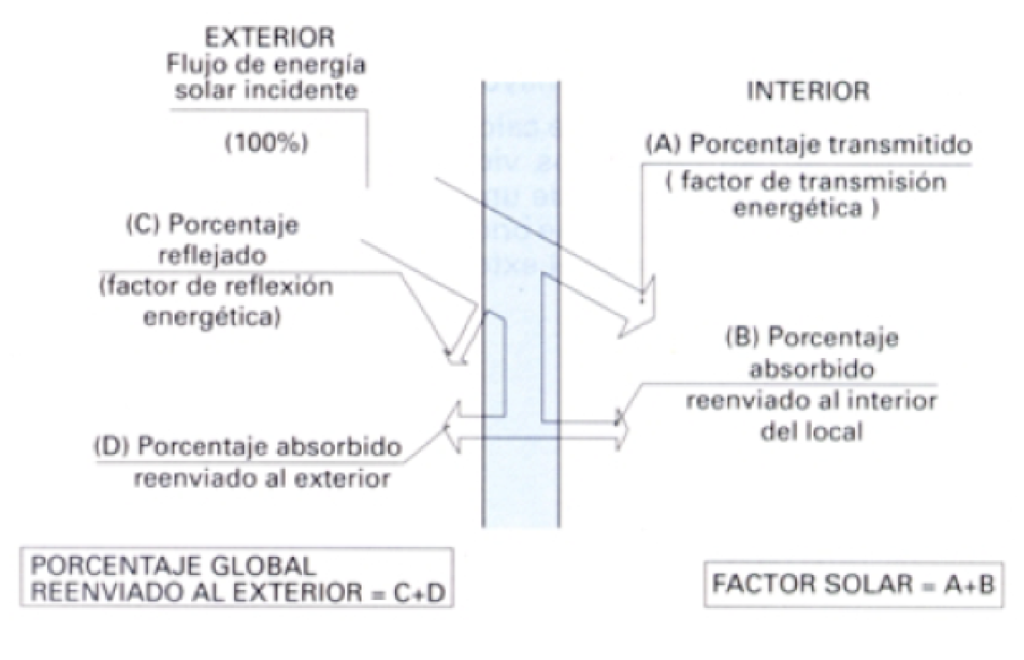


Figura 11. Factor solar de un vidrio (Fuente: Saint Gobain Glass)

Sin embargo, un hueco no suele estar aislado, sino que puede estar expuesto a retranqueos, salientes o protecciones solares que, accidental o intencionadamente, reduzcan el paso de la radiación a través del mismo. Por este motivo surge el concepto de factor solar modificado.

El factor solar modificado de un hueco es la fracción de radiación incidente en un hueco que no es bloqueada por la presencia de obstáculos de fachada tales como retranqueos, voladizos, toldos, salientes laterales u otros. Este se calcula mediante la expresión:

$$F = F_S\,[(1 - F_M)\,g_{\perp} + F_M \cdot 0{,}04 \cdot U_m \cdot \alpha]$$

Siendo,

F_S factor de sombra del hueco o lucernario obtenido de los valores de la Tabla 24. Factor de sombra para obstáculos de fachada: voladizo a la Tabla 28. Factor de sombra para lucernarios en función del dispositivo de sombra o mediante simulación. En caso de que no se justifique adecuadamente el valor de F_s se debe considerar igual a la unidad;

FM la fracción del hueco ocupada por el marco en el caso de ventanas o la fracción de parte maciza en el caso de puertas;

$g_{\perp}$ el factor solar de la parte semitransparente del hueco o lucernario a incidencia normal.

Um transmitancia térmica del marco del hueco o lucernario [W/m²K];

α absortividad del marco obtenida de la Tabla 29. Absortividad del marco para radiación solar α en función de su color.

Tabla 24. Factor de sombra para obstáculos de fachada: voladizo

ORIENTACIÓNES DE FACHADAS		0,2 < L / H ≤ 0,5	0,5 < L / H ≤ 1	1 < L / H ≤ 2	L / H > 2
S	0 < D / H ≤ 0,2	0,82	0,50	0,28	0,16
S	0,2 < D / H ≤ 0,5	0,87	0,64	0,39	0,22
S	D / H > 0,5	0,93	0,82	0,60	0,39
SE/SO	0 < D / H ≤ 0,2	0,90	0,71	0,43	0,16
SE/SO	0,2 < D / H ≤ 0,5	0,94	0,82	0,60	0,27
SE/SO	D / H > 0,5	0,98	0,93	0,84	0,65
E/O	0 < D / H ≤ 0,2	0,92	0,77	0,55	0,22
E/O	0,2 < D / H ≤ 0,5	0,96	0,86	0,70	0,43
E/O	D / H > 0,5	0,99	0,96	0,89	0,75

NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

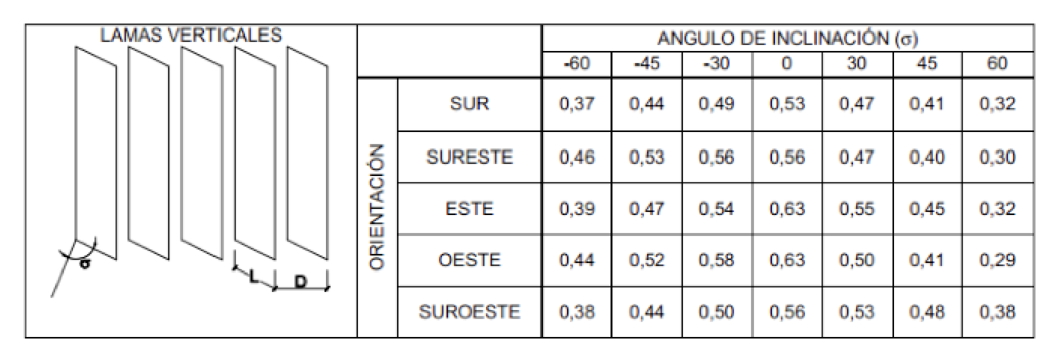
ISBN: 978-84-16546-24-4
DOI: http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia124

Tabla 25. Factor de sombra para obstáculos de fachada: retranqueo

ORIENTACIÓNES DE FACHADAS		0,05 < R/W ≤ 0,1	0,1 < R/W ≤ 0,2	0,2 < R/W ≤ 0,5	R/W > 0,5
S	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,82	0,74	0,62	0,39
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,76	0,67	0,56	0,35
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,56	0,51	0,39	0,27
	RH > 0,5	0,35	0,32	0,27	0,17
SE/SO	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,86	0,81	0,72	0,51
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,79	0,74	0,66	0,47
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,59	0,56	0,47	0,36
	RH > 0,5	0,38	0,36	0,32	0,23
E/O	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,91	0,87	0,81	0,65
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,86	0,82	0,76	0,61
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,71	0,68	0,61	0,51
	R/H > 0,5	0,53	0,51	0,48	0,39

Tabla 26. Factor de sombra para obstáculos de fachada: lamas

LAMAS HORIZONTALES		ANGULO DE INCLINACIÓN (β)		
		0	30	60
ORIENTACIÓN	SUR	0,49	0,42	0,26
	SURESTE/ SUROESTE	0,54	0,44	0,26
	ESTE/ OESTE	0,57	0,45	0,27



LAMAS VERTICALES		ANGULO DE INCLINACIÓN (σ)						
		-60	-45	-30	0	30	45	60
ORIENTACIÓN	SUR	0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32
	SURESTE	0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,40	0,30
	ESTE	0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32
	OESTE	0,44	0,52	0,58	0,63	0,50	0,41	0,29
	SUROESTE	0,38	0,44	0,50	0,56	0,53	0,48	0,38

NOTAS Los valores de factor de sombra que se indican en estas tablas han sido calculados para una relación D/L igual o inferior a 1. El ángulo σ debe ser medido desde la normal a la fachada hacia el plano de las lamas, considerándose positivo en dirección horaria.

Tabla 27. Factor de sombra para obstáculos de fachada: toldos

CASO A	Tejidos opacos τ=0		Tejidos translúcidos τ=0,2	
α	SE/S/SO	E/O	SE/S/SO	E/O
30	0,02	0,04	0,22	0,24
45	0,05	0,08	0,25	0,28
60	0,22	0,28	0,42	0,48

CASO B	Tejidos opacos τ=0			Tejidos translúcidos τ=0,2		
α	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O
30	0,43	0,61	0,67	0,63	0,81	0,87
45	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60
60	0,14	0,39	0,28	0,34	0,42	0,48

Tabla 28. Factor de sombra para lucernarios

		Y / Z					
		0,1	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
X / Z	0,1	0,42	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44
	0,5	0,43	0,46	0,48	0,50	0,51	0,52
	1,0	0,43	0,48	0,52	0,55	0,58	0,59
	2,0	0,43	0,50	0,55	0,60	0,66	0,68
	5,0	0,44	0,51	0,58	0,66	0,75	0,79
	10,0	0,44	0,52	0,59	0,68	0,79	0,85

NOTAS Los valores de factor de sombra que se indican en esta tabla son válidos para lucernarios sensiblemente horizontales. En caso de lucernarios de planta elíptica o circular podrán tomarse como dimensiones características equivalentes los ejes mayor y menor o el diámetro.

Tabla 29. Absortividad del marco para radiación solar α

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	-
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0.40	0,65	-
Negro	-	0,96	-

8.3. Permeabilidad al aire de carpinterías

La permeabilidad al aire determina el caudal de aire unitario en función de la diferencia de presión entre las dos caras de un sistema de acristalamiento. Depende de la calidad carpintería y del sellado de los acristalamientos. La permeabilidad al aire ha de ser un valor ensayado y proporcionado por el fabricante.

La norma *EN 12207:2000 Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire. Clasificación* tiene por objetivo clasificar las ventanas en función de la cantidad de aire que atraviesa la ventana en posición cerrada debido a un diferencial de presión (fuerza de viento). Dicha permeabilidad al aire se clasifica la ventana según clase 0, 1, 2, 3 o 4 siendo la 4 la más estanca. La Figura 12. Clasificación de la permeabilidad al aire muestra la relación entre las clases según la norma.

NORMA EN VIGOR
Norma Europea EN 12207: Puertas y ventanas. Permeabilidad al aire. Requisitos y clasificación

1.- Criterio de clasificación
Fuga de aire a 100 Pa

1.1 Fuga de aire por superficie total
- Clase 0: Sin ensayar
- Clase 1: ≤ 50 $m^3/h.m^2$, hasta 150 Pa
- Clase 2: ≤ 27 $m^3/h.m^2$, hasta 300 Pa
- Clase 3: ≤ 9 $m^3/h.m^2$, hasta 600 Pa
- Clase 4: ≤ 3 $m^3/h.m^2$, hasta 600 Pa

1.2 Fuga de aire por las juntas de apertura
- Clase 0: Sin ensayar
- Clase 1: ≤ 12,50 $m^3/h.m$, hasta 150 Pa
- Clase 2: ≤ 6,75 $m^3/h.m$, hasta 300 Pa
- Clase 3: ≤ 2,25 $m^3/h.m$, hasta 600 Pa
- Clase 4: ≤ 0,75 $m^3/h.m$, hasta 600 Pa

1.3 Criterios de clasificación final
Según las clasificaciones obtenidas en 1.1 y 1.2:
- Iguales: Clase coincidente
- Adyacentes: Clase más favorable
- Diferencia de 2 clases: Clase intermedia
- Diferencia de más de 2 clases: Sin clasificar

Figura 12. Clasificación de la permeabilidad al aire

Según la Sección HE1 Limitación de la demanda energética, la permeabilidad de las carpinterías con sobrepresión de 100 Pa será inferior a:

- 50 $m^3/h \cdot m^2$ (clases 1-4) en zonas climáticas A y B
- 27 $m^3/h \cdot m^2$ (clases 2-4) en zonas climáticas C, D y E

9. Predimensionado de aislamientos térmicos

En algunos casos, resulta útil tener una estimación de los parámetros característicos de la envolvente térmica sin tener que recurrir a la justificación normativa a través de herramientas informáticas. El Apéndice E del DB HE1 aporta valores orientativos de los parámetros característicos de le envolvente térmica para el predimensionado de soluciones constructivas, en uso residencial.

La Tabla 30. Transmitancia térmica del elemento [W/m2K] indica los valores orientativos de transmitancia térmica que deben tener los elementos de la envolvente (fachadas, suelos, cubiertas y cerramientos en contacto con el terreno), según la zona climática en la que se ubica el edificio. La Tabla 31. Transmitancia térmica de huecos [W/m2K] proporciona los valores relativos a la transmitancia térmica de huecos, según la zona climática y el nivel de capitación solar.

La descripción de la captación solar en invierno es cualitativa. Es alta para edificios con ventanas sin obstáculos orientadas al sur, sureste o suroeste, y baja para orientaciones norte, noreste, noroeste, o para cualquier orientación en el caso de existir obstáculos que impidan la radiación directa sobre los huecos. Para cada nivel de captación y zona climática se proporciona un rango de transmitancias que corresponde a un porcentaje total de huecos respecto a la superficie útil entre el 15 % (nivel inferior) y el 10 % (nivel superior).

Tabla 30. Transmitancia térmica del elemento [W/m^{2}K]

	Zona Climática					
Transmitancia del elemento [W/m^2 K]	**α**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
U_M	0.94	0.50	0.38	0.29	0.27	0.25
U_S	0.53	0.53	0.46	0.36	0.34	0.31
U_C	0.50	0.47	0.33	0.23	0.22	0.19

U_M: Transmitancia térmica de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno
U_S: Transmitancia térmica de suelos (forjados en contacto con el aire exterior)
U_C: Transmitancia térmica de cubiertas

Tabla 31. Transmitancia térmica de huecos [W/m^{2}K]

Transmitancia térmica de huecos [W/m^2 K]		**α**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
Captación solar	**Alta**	5.5 – 5.7	2.6 – 3.5	2.1 – 2.7	1.9 – 2.1	1.8 – 2.1	1.9 – 2.0
	Media	5.1 – 5.7	2.3 – 3.1	1.8 – 2.3	1.6 – 2.0	1.6 – 1.8	1.6 – 1.7
	Baja	4.7 – 5.7	1.8 – 2.6	1.4 – 2.0	1.2 – 1.6	1.2 – 1.4	1.2 – 1.3

NOTA: Para el factor solar modificado se podrá tomar como referencia, para *zonas climáticas* con un verano tipo 4, un valor inferior a 0,57 en orientación sur/sureste/suroeste, e inferior a 0,55 en orientación este/oeste.

Teniendo una orientación del valor de transmitancia (U) que debe tener un elemento, se puede calcular el espesor del aislamiento térmico. Con ello podemos realizar una estimación o predimensionado de los espesores de aislamiento térmico para un edificio, sin necesidad de recurrir a la justificación del cumplimiento de la normativa.

Sin embargo, el uso de soluciones constructivas con parámetros característicos iguales a los indicados no garantiza el cumplimiento de la exigencia, pero debería conducir a soluciones próximas a su cumplimiento. Los valores se han obtenido considerando unos puentes térmicos equivalentes a los del edificio de referencia y un edificio de una compacidad media.

10. Herramientas para la justificación

Desde la entrada en vigor de la actualización del CTE en 2013, la justificación de los Documentos Básicos DB HE0 y DB HE1 debe realizarse a través de la Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC). Esta herramienta incluye la unificación en una sola plataforma de los anteriores programas oficiales empleados para la evaluación de la demanda energética y del consumo energético y de los Procedimientos Generales para la Certificación energética de Edificios (LIDER-CALENER), así como los cambios necesarios para la convergencia de la certificación energética con el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), ambos actualizados en el año 2013.

Esta herramienta informática permite la verificación de las exigencias 2.2.1 de la sección HE0, 2.2.1.1 y punto 2 del apartado 2.2.2.1 de la sección DB HE1. También permite la verificación del apartado 2.2.2 de la sección HE0 que debe verificarse, tal como establece el DB HE, según el procedimiento básico para la certificación energética de edificios. Otras exigencias de las secciones HE0 y HE1 que resulten de aplicación deben verificarse por otros medios.

La HULC puede descargase en la página web del Código Técnico de la Edificación: http://www.codigotecnico.org/.

11. Bibliografía

Parlamento Europeo, Consejo de la Unión Europea. Directiva 2012/27/UE sobre eficiencia energética por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. 25 de octubre de 2012

Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios

CTE Código Técnico de la Edificación (2013) Ministerio de Fomento

Documento de Apoyo al Documento Básico DB HE Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación (DA DB HE/1). Cálculo de parámetros característicos de la envolvente

UNE EN 12207:2000 Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire. Clasificación

http://www.codigotecnico.org/

TEMA 3. Condensaciones y puentes térmicos en los edificios

1. Introducción

La humedad y los puentes térmicos en la construcción son una de las causas más comunes desencadenantes de patologías y del aumento considerable en la demanda energética en los edificios, respectivamente. Este tema aborda ambos aspectos, aportando la definición de los conceptos, un análisis de sus causas y un conjunto de recomendaciones para evitarlos, a la vez que establece los procedimientos de cálculo necesarios a seguir para cuantificar sus efectos.

2. Higrometría

La higrometría es la parte de la física que estudia la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera. A continuación, se definen algunos conceptos necesarios para comprender, a posteriori, el efecto de las condensaciones en los elementos constructivos.

Presión de vapor

Presión parcial de las moléculas de agua contenidas en el aire. Se expresa en Pascal (Pa).

Humedad específica

Se define como la masa de vapor de agua presente por unidad de masa de aire seco. Se expresa a través de la relación.

$$W = \frac{m_v}{m_{as}} \left[kg_v / kg_{as} \right]$$

Humedad relativa

Se define como la relación entre la cantidad de vapor de agua contenida en el aire y la cantidad de vapor de agua en un aire saturado a la misma temperatura y presión

total. Se expresa en porcentaje. Cuanto más se aproxima el valor de la humedad relativa al 100 %, más húmedo está el aire.

$$\phi = \left(\frac{x_v}{x_{vs}} \right)_{T_S} \cdot 100 [\%]$$

Donde,

x_v presión parcial de vapor de agua en la mezcla de aire (Pa)

x_{vs} presión de saturación de agua a la temperatura de la mezcla de aire (Pa).

Temperatura del aire seco

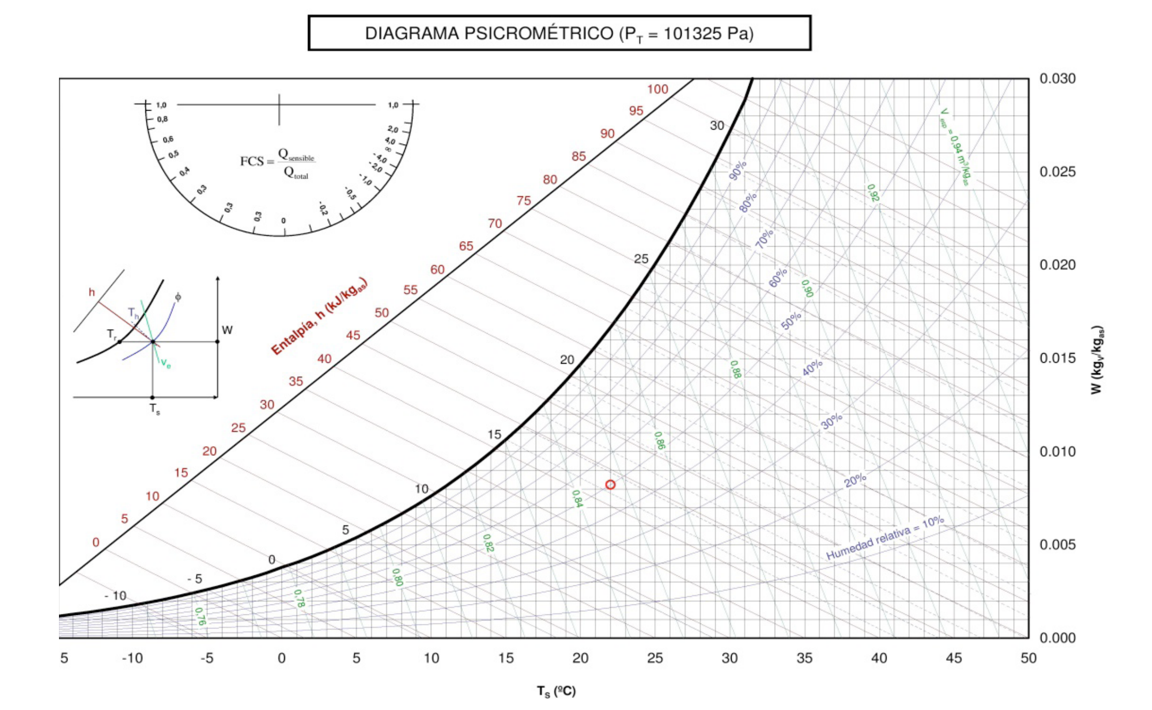
Mide la temperatura del aire sin considerar factores ambientales como la radiación, la humedad o el movimiento del aire.

Temperatura de rocío

Es la temperatura en que sobreviene la saturación (100 % de humedad relativa) y, en consecuencia, la condensación. Esta depende de la humedad relativa y de la temperatura del aire interior.

Ábaco psicrométrico

El diagrama psicrométrico permite calcular de una manera simplificada las variables psicrométricas a partir de únicamente dos variables, para una determinada presión total normalizada (presión atmosférica): humedad específica y temperatura del aire seco.



Resistividad a la difusión del vapor de agua (μ)

Es la resistencia que presentan los materiales al paso del vapor de agua. Se expresa por medio del factor μ y es el cociente entre la permeabilidad al vapor de agua (δ, [mg/(m·h·Pa)]) del aire estanco y la del material (ver Figura 1. Resistividad a la difusión del vapor de agua (μ)). Cuanto mayor es el factor μ de un material, mayor resistividad a la difusión del vapor de agua presenta. En cuanto a materiales aislantes, existen algunos altamente resistentes como el vidrio celular (μ tiende a infinito) y el poliestireno extrusionado (XPS), cuya resistividad es relativamente elevada, pero otros de uso muy habitual en la construcción presentan unos coeficientes μ muy bajos, como las lanas minerales (MW), el poliestireno expandido (EPS), el poliuretano (PUR) o el corcho.

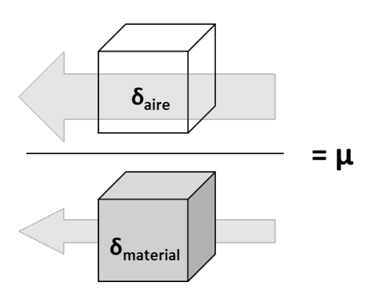


Figura 1. Resistividad a la difusión del vapor de agua (μ)

Con mucha frecuencia para obtener valores más fácilmente manejables se expresa la resistencia a la difusión del vapor mediante el espesor de la capa de aire equivalente a la difusión del vapor (S_d), y se expresa en metros.

$$S_d = \mu \cdot e \text{ [m]}$$

Donde e es el espesor de la capa en m.

3. Condensaciones

El Código Técnico de la Edificación establece que la envolvente térmica de los edificios deberá proporcionar unas características tales que reduzcan el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar las prestaciones de la misma. Existen dos tipos de humedades por condensación: las superficiales y las intersticiales. Las primeras aparecen en la superficie de los cerramientos, mientras que las segundas, lo hacen en las capas interiores que los conforman (ver Figura 2. Tipos de humedades por condensación). En los siguientes apartados se estudia en detalle ambos tipos de condensación.

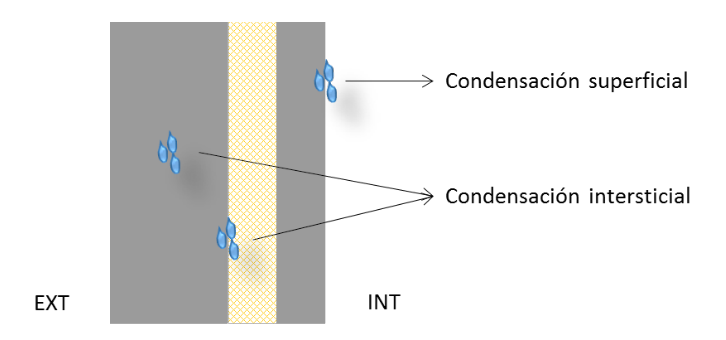


Figura 2. Tipos de humedades por condensación

3.1. Condensación superficial

Las humedades de condensación superficiales aparecen en la superficie interior de los cerramientos de la envolvente térmica. Estas se producen cuando la temperatura superficial del cerramiento es menor que el punto de rocío del aire circundante. Por ello, generalmente aparecen durante el invierno, periodo en el que las superficies de los cerramientos se encuentran frías.

Para evitar el riesgo de condensación superficial, se deberá procurar que la temperatura superficial interior del cerramiento sea lo más próxima posible a la temperatura del aire. Esto únicamente se puede asegurar con la incorporación de un aislamiento térmico en el cerramiento o, en caso de huecos, con la instalación de un vidrio doble aislante. La Figura 3. Condensación superficial (Fuente: Castro, 2008) muestra gráficamente el riesgo creciente de condensación cuando no contamos con dicho aislamiento en la solución constructiva de una fachada.

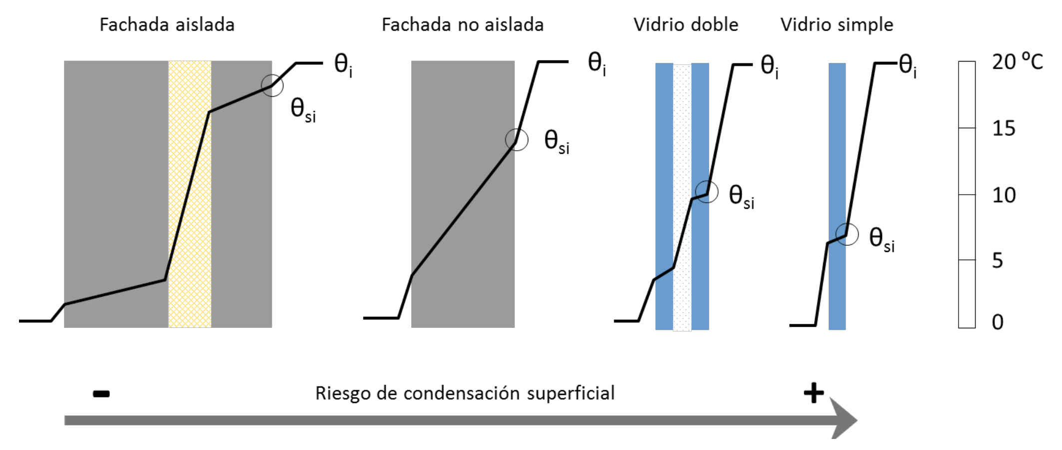


Figura 3. Condensación superficial (Fuente: Castro, 2008)

La consecuencia de las humedades por condensación superficial es el deterioro en las condiciones de habitabilidad por aparición de manchas, abultamiento y/o desprendimiento de pintura y mortero y proliferación de hongos que se extienden por las superficies.

Ejemplo 1. Supongamos una estancia de una vivienda en invierno a primera hora de la mañana (cuando las temperaturas exteriores son bajas) con una temperatura superficial interior de la fachada de 9 °C, una humedad relativa del 60 % y una temperatura ambiente de 16 °C. Mediante el ábaco psicrométrico hallamos la temperatura de rocío, 8,2 °C. Se deduce que no se producirán condensaciones superficiales, pues la temperatura de la fachada (9 °C) es superior a la temperatura de rocío (8,2 °C).

La misma situación, pero considerando un 70 % de humedad relativa dentro de la estancia, originaría una temperatura de rocío de 11 °C, produciendo riesgo de condensación, ya que la temperatura de la fachada (9 °C) en este caso es inferior al punto de rocío.

Ejemplo 2. Supongamos la misma fachada en las mismas condiciones pero con un sistema de aislamiento por el exterior que hace que la temperatura de fachada por el interior sea de 14 °C. Ni con una humedad relativa del 60 % ni con el 70 %, tendremos riesgo de condensación, ya que los 14 °C son superiores a ambas temperaturas de rocío, 8,2 °C y 11 °C, respectivamente.

Por el contrario, si consideramos una humedad relativa del 95 % en dicha estancia, el punto de rocío sería en este caso de 15 °C, de manera que sí tendríamos condensaciones, tanto con aislamiento como sin aislamiento.

Las humedades por condensación superficial pueden producirse en los siguientes puntos:

- Partes de la envolvente con temperatura superficial interior baja debido a baja resistencia térmica:

  — Vidrios con U alta (por ejemplo, vidrios monolíticos)
  — Puentes térmicos con alta U
  — Aristas verticales u horizontales por variación de la resistencia superficial interior

- Paredes de estancias donde la humedad relativa es alta:
  — Estancias poco ventiladas
  — Zonas con higrometría elevada (baños, cocinas, vestuarios, piscinas climatizadas)

La Figura 4. Condensación superficial en encuentro de fachada-pilar-cubierta (izquierda) vidrio (derecha) muestra dos ejemplos típicos de humedades por condensación superficial.

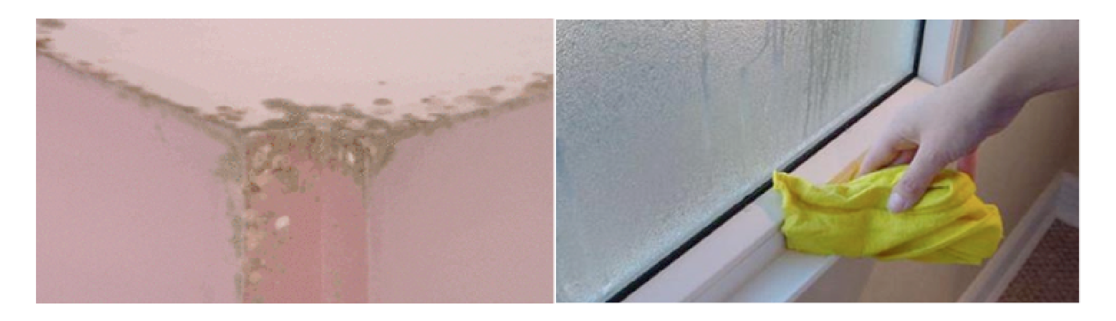


Figura 4. Condensación superficial en encuentro de fachada-pilar-cubierta (izquierda) vidrio (derecha)

Hay que tener en cuenta que los puentes térmicos son zonas muy sensibles a la aparición de condensaciones, ya que se encuentran desprovistas de aislamiento térmico o cuentan con un menor grado. Un caso habitual se produce en los encuentros de la estructura de pilares y forjados de hormigón con la fachada, que en caso de lluvia o frío intenso, la carencia de aislamiento en estas zonas hace que la temperatura interior de la fachada alcance a la temperatura de rocío del aire interior (ver Figura 5. Edificio con condensaciones superficiales en los puentes térmicos).



Figura 5. Edificio con condensaciones superficiales en los puentes térmicos

3.2. Cálculo de condensaciones superficiales

La comprobación de la limitación de condensaciones superficiales se basa en la comparación del factor de temperatura de la superficie interior f_{Rsi} y el factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi,min}$ para las condiciones interiores y exteriores correspondientes al mes de enero de la localidad (tabla C.1 del Apéndice C del documento CTE DA DB HE/2).

Tanto en los cerramientos como en los puentes térmicos se comprueba que el factor de temperatura de la superficie interior es superior al factor de temperatura de la superficie interior mínimo. Este factor se puede obtener a partir de la Tabla 1. Factor de temperatura de la superficie interior mínimo fRsi, min (según CTE DA DB HE/2) en función de la clase de higrometría de cada espacio y la zona climática de invierno donde se encuentre el edificio. La clase de higrometría se describe en la tabla 2. Clase de higrometría según espacios (según CTE DA DB HE/2).

Tabla 1. Factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi,\,min}$ (según CTE DA DB HE/2)

	Zona climática de invierno					
Categoría del espacio	**α**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
Clase de higrometría 5	0,70	0,80	0,80	0,80	0,90	0,90
Clase de higrometría 4	0,56	0,66	0,66	0,69	0,75	0,78
Clase de higrometría 3 o inferior a 3	0,42	0,50	0,52	0,56	0,61	0,64

Tabla 2. Clase de higrometría según espacios (según CTE DA DB HE/2)

Clase higrometría	*Descripción*	*Humedad relativa interior de referencia (φ)*
1, 2 y 3	Espacios donde no se prevé una alta producción de humedad: Oficinas, tiendas, zonas de almacén, todos los espacios de uso residencial	55 %
4	Espacios donde se prevé un alta producción de humedad: Cocinas, pabellones polideportivos, duchas colectivas; otros usos similares	62 %
5	Espacios donde se prevé un gran producción de humedad: Lavanderías, restaurantes, piscinas	70 %

La comprobación de las condensaciones superficiales debe hacerse en todos los puntos de la envolvente térmica, quedando excluidos:

- Particiones interiores que limiten espacios no habitables con escasa producción de humedad.
- Cerramientos en contacto con el terreno.

El factor de temperatura de la superficie interior f_{Rsi}, para cada cerramiento o partición interior se calcula a partir de su transmitancia térmica, aplicando la siguiente ecuación:

$$f_{Rsi} = 1 - U \cdot 0{,}25$$

Siendo *U* la transmitancia térmica del cerramiento [W/m^2K].

El cumplimiento de los valores de transmitancia máxima de los parámetros característicos de la envolvente establecidos en el documento DB HE1 asegura, para los cerramientos y particiones interiores de los espacios de clase de higrometría 4 o inferior, la verificación de la condición anterior. Sin embargo, puede resultar necesario comprobarlo en los puentes térmicos, como veremos en apartados posteriores.

3.3. Condensación intersticial

Las humedades por condensación intersticial aparecen en el interior de los cerramientos de la envolvente térmica y se producen cuando la cantidad de vapor relativamente elevada proveniente del interior del local hacia el exterior llega a la

zona fría del elemento de la envolvente, pudiéndose alcanzar la saturación, sobreviniendo entonces la condensación.

La condensación puede producirse en las diferentes capas del cerramiento. Cuando se produce en el aislamiento térmico y este no tiene una adecuada resistividad a la difusión del vapor (μ) la situación es crítica, pues se compromete su capacidad aislante, aumentando así las pérdidas de calor a través del cerramiento. La formación de humedades por condensación intersticial de una forma continuada en el tiempo acaba produciendo la degradación del aislamiento térmico.

3.4. Cálculo de condensaciones intersticiales

La condensación intersticial se produce cuando la presión de vapor es superior a la presión de vapor de saturación (ver figura 6. Cerramiento con condensación intersticial).

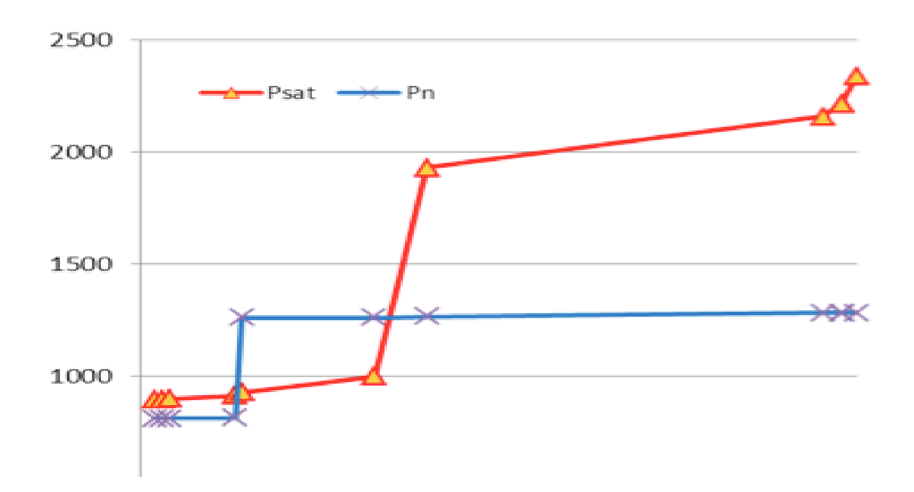


Figura 6. Cerramiento con condensación intersticial

El procedimiento para la comprobación de formación de condensaciones intersticiales se basa en la comparación entre la presión de vapor y la presión de vapor de saturación que existe en cada punto intermedio de un cerramiento formado por diferentes capas, para las condiciones interiores y exteriores correspondientes al mes de enero (mes más frío del año) y especificadas en tabla C.1 del Apéndice C del documento CTE DA DB HE/2.

Para que no se produzcan condensaciones intersticiales se debe comprobar que la presión de vapor en la superficie de cada capa es siempre inferior a la presión de vapor de saturación. Para cada cerramiento objeto de estudio se debe calcular:

- la distribución de temperaturas;
- la distribución de presiones de vapor de saturación para las temperaturas antes calculadas;
- la distribución de presiones de vapor.

No es necesaria la comprobación en:

- cerramientos en contacto con el terreno
- cerramientos con barrera de vapor en la parte caliente del cerramiento. Para particiones interiores en contacto con espacios no habitables en los que se prevea gran producción de humedad, se debe colocar la barrera de vapor en el lado de dicho espacio no habitable.

Una vez realizados los cálculos de temperaturas y presiones de vapor en las capas del cerramiento se puede construir la gráfica de presión de vapor y presiones de vapor de saturación.

Cálculo de la distribución de temperaturas

La distribución de temperaturas a lo largo del espesor de un cerramiento formado por varias capas depende de las temperaturas del aire a ambos lados de la misma, así como de las resistencias térmicas superficiales interior R_{si} y exterior R_{se}, y de las resistencias térmicas de cada capa (R_1, R_2, R_3, ..., R_n). La figura 7. Distribución de temperaturas en un cerramiento muestra la distribución de las temperaturas internas, superficial interior y superficial exterior en un cerramiento.

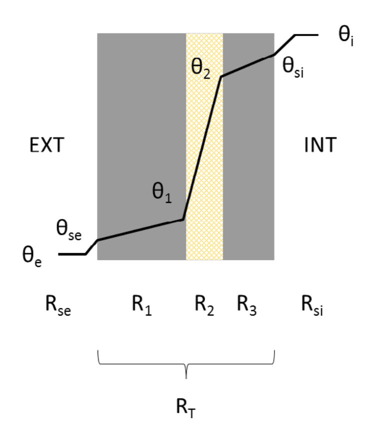


Figura 7. Distribución de temperaturas en un cerramiento

El procedimiento a seguir para el cálculo de la distribución de temperaturas es el siguiente:

a) cálculo de la resistencia térmica total del elemento (R_T)

b) cálculo de la temperatura superficial exterior θ_{se}

$$\theta_{se} = \theta_e + \frac{R_{se}}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Donde,

θ_{se} temperatura superficial exterior [°C]

θ_e temperatura exterior de la localidad según tabla C.1 del Apéndice C del documento CTE DA DB HE/2

θ_i temperatura interior [20 °C]

R_T resistencia térmica total del componente constructivo [m²K/W]

R_{se} resistencia térmica superficial del aire exterior [m²K/W]

c) cálculo de la temperatura en cada una de las capas que componen el elemento constructivo según las expresiones siguientes:

$$\theta_1 = \theta_{se} + \frac{R_1}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

$$\theta_2 = \theta_1 + \frac{R_2}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

$$\theta_n = \theta_{n-1} + \frac{R_n}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Donde,

$\theta_1 \ldots \theta_{n-1}$ temperaturas en cada capa del cerramiento [°C]

$R_1, R_2, \ldots, R_n$ resistencia térmica de cada capa [m²K/W]

d) cálculo de la temperatura superficial interior θ_i

$$\theta_{si} = \theta_n + \frac{R_{si}}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Cálculo de la distribución de presiones de vapor

A partir de la distribución de temperaturas obtenida anteriormente se puede obtener la distribución de la presión de vapor de saturación a través del cerramiento formado por varias capas. Esta se calcula mediante las siguientes expresiones:

$$P_1 = P_e + \frac{S_{d1}}{\sum S_{dn}} \cdot (P_i - P_e)$$

$$P_2 = P_1 + \frac{S_{d2}}{\sum S_{dn}} \cdot (P_i - P_e)$$

$$P_n = P_{n-1} + \frac{S_{d(n)}}{\sum S_{dn}} \cdot (P_i - P_e)$$

Donde,

P_i	presión de vapor del aire interior [Pa]
P_e	presión de vapor del aire exterior [Pa]
$P_1 \ldots P_{n-1}$	presión de vapor en cada capa n [Pa]
$S_{d1} \ldots S_{d(n)}$	espesor de aire equivalente de cada capa frente a la difusión del vapor de agua, calculado mediante la siguiente expresión [m]: $S_{dn} = e_n \cdot \mu_n$

Gráfico de distribución de presión de vapor y de presión de saturación

La distribución de presiones de vapor a través del cerramiento se puede representar gráficamente mediante una línea recta que una el valor de P_n con P_{sat}, dibujado sobre la sección del cerramiento utilizando los espesores de capa equivalentes a la difusión de vapor de agua, S_{dn} (ver figura 6. Cerramiento con condensación intersticial).

Se pueden dar tres casos diferenciados, tal y como se muestra en la figura 8. La línea de puntos representa la presión de vapor de saturación y la línea continua la presión de vapor.

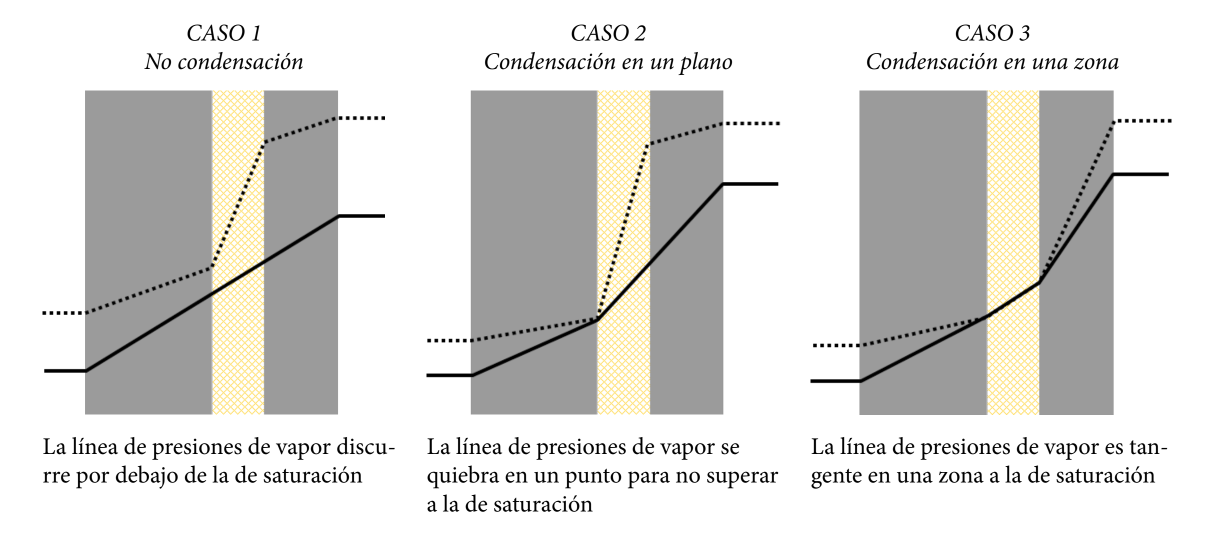


Figura 8. Casos posibles relativos a la condensación intersticial en un cerramiento

Cálculo de la condensación acumulada

En el caso de producirse condensaciones intersticiales en una capa distinta a la de aislamiento, se aconseja evitar que la cantidad de agua condensada en cada periodo anual supere la cantidad de agua evaporada posible en el mismo periodo. Para ello deberán evaluarse para cada periodo mensual las cantidades condensadas o evaporadas según sea el caso.

3.5. Recomendaciones para evitar las condensaciones

Para evitar las condensaciones superficiales, se tomarán las siguientes precauciones:

- Incorporar aislamiento térmico en el cerramiento para aumentar su resistencia térmica.
- Incorporar aislamiento térmico en los puentes térmicos para controlarlos y, en la medida de lo posible, evitarlos.
- Ventilar y calefactar adecuadamente, en función del uso de edificio, de modo que la humedad relativa del ambiente interior permanezca en unos niveles que no supongan riesgos de condensación y por tanto de formación de mohos.

Para evitar las condensaciones intersticiales, se tomarán las siguientes precauciones:

- Instalar el aislamiento térmico lo más próximo posible al ambiente exterior.
- Cuando se instalen barreras de vapor, estas deben estar lo más cerca posible del ambiente interior y, en todo caso, en la cara «caliente» del aislamiento térmico.

- Optar por aislamientos higrotérmicos, es decir, con resistencia térmica elevada y con un factor μ elevado (vidrio celular o XPS).

- Usar soluciones de envolvente ventiladas (fachada o cubierta ventilada), para facilitar la evaporación del vapor de agua causante de la condensación.

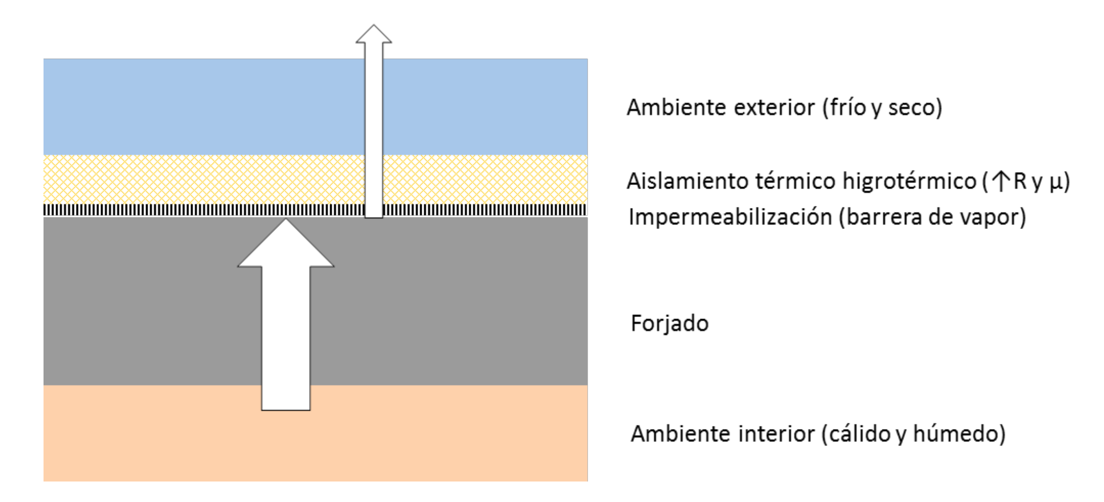


Figura 9. Ejemplo de cubierta con bajo o nulo riesgo de condensación

En edificios existentes se debe de tener precaución, especialmente, con el cambio de las carpinterías por unas de mejores prestaciones. El deficiente ajuste de las ventanas antiguas hace que su permeabilidad al aire sea elevada, lo que facilita la entrada perjudicial de frío pero también, permite la ventilación de las estancias. Muchos problemas en rehabilitación de edificios han surgido al sustituir las carpinterías, precisamente por este motivo. El incorporar unas carpinterías herméticas pero sin ningún dispositivo de aireación, causa que las estancias ventilen de forma insuficiente, aumentando así el riesgo de condensación. Una opción es incorporar ventanas oscilobatientes con sistema de microventilación, lo que permite resolver en cierta medida el problema.

4. Puentes térmicos

Los puentes térmicos son zonas de la envolvente del edificio en las que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento.

Su efecto en la demanda energética del edificio es notable y, además, los puentes térmicos son partes sensibles de los edificios al aumentar en ellos el riesgo de formación de mohos por condensaciones superficiales debidas a la disminución de la temperatura de las superficies interiores (en condiciones de invierno). Es,

por tanto, necesario considerar el impacto de los puentes térmicos en la demanda energética de los edificios así como en el riesgo de formación de mohos.

Cabe indicar que los puentes térmicos son consecuencia natural de la ejecución de obra y de la geometría del edificio, por lo tanto inevitables, y no deben confundirse con los defectos en la construcción o en las características de los materiales, factores que deberán ser siempre evitados.

Los puentes térmicos más comunes son:

a) Puentes térmicos integrados en los cerramientos:

pilares integrados en los cerramientos de las fachadas;
contorno de huecos y lucernarios;
cajas de persianas;
otros puentes térmicos integrados;

b) Puentes térmicos formados por encuentro de cerramientos:

frentes de forjado en las fachadas;
uniones de cubiertas con fachadas;
cubiertas con pretil;
cubiertas sin pretil;
uniones de fachadas con cerramientos en contacto con el terreno;
unión de fachada con losa o solera;
unión de fachada con muro enterrado o pantalla;

c) Esquinas o encuentros de fachadas, que, dependiendo de la posición del ambiente exterior se subdividen en:

esquinas entrantes;
esquinas salientes;

d) Encuentros de voladizos con fachadas;

e) Encuentros de tabiquería interior con cerramientos exteriores.

El cálculo de los puentes térmicos no es sencillo, pues la realidad constructiva de la envolvente de un edificio configura una geometría compleja, con numerosos detalles, juntas y encuentros, que afectarán a la transmitancia térmica de esta. Por ello, el efecto de los puentes térmicos no debe ser menospreciado y mucho menos, obviado. En función de la geometría que conforman los encuentros entre distintos elementos de la envolvente, el flujo de calor podrá ser unidimensional, bidimensional o incluso tridimensional. La figura 10. Flujo de calor bidimensional en un balcón muestra un cerramiento de fachada interrumpido por un saliente de forjado, que constituye un puente térmico. En dicho encuentro, al flujo de calor unidimensional a través de la fachada, se le suma el efecto del flujo de calor tam-

bién unidimensional a través del forjado, constituyendo en su conjunto un puente térmico bidimensional.

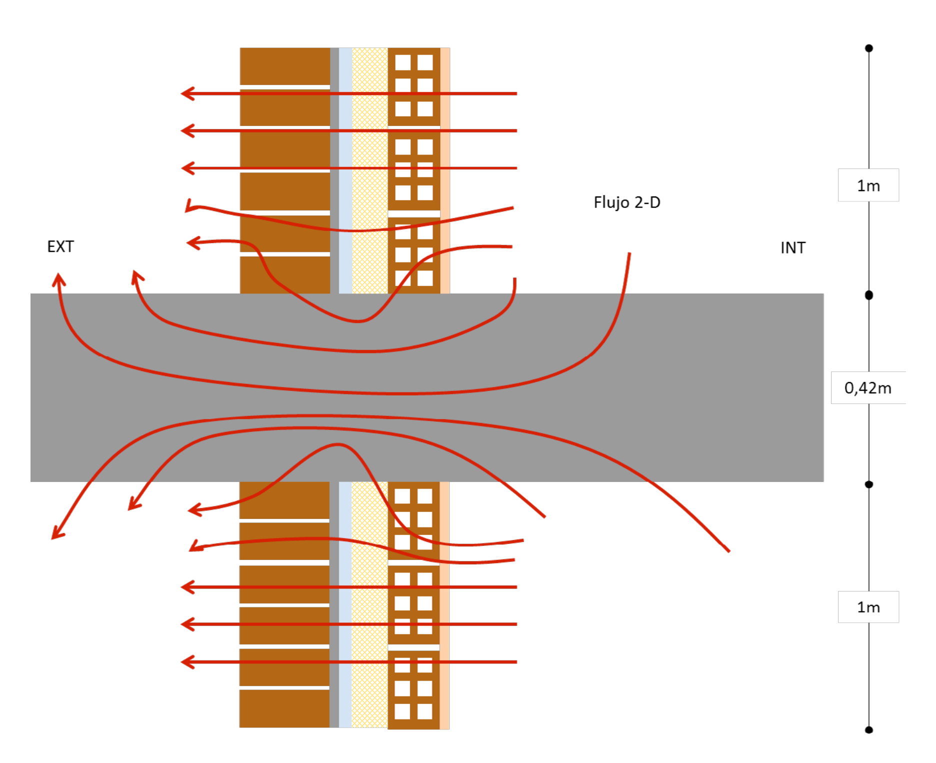


Figura 10. Flujo de calor bidimensional en un balcón

El efecto en el flujo de calor que producen los puentes térmicos en la envolvente térmica del edificio es la aparición de flujos de calor bidimensional o tridimensional, en lugar de un comportamiento uniforme que responde a un flujo unidimensional, como podría ser el caso de un flujo de calor a través de las capas de una fachada o cubierta. Para calcular con precisión el comportamiento térmico global de la envolvente térmica, incluyendo el efecto de los puentes térmicos, se puede hacer uso, bien de métodos simplificados, o bien, de métodos numéricos complejos que permiten obtener resultados más fiables. Estos últimos requieren mayor esfuerzo de modelado mediante el uso de programas.

Existen dos parámetros clave para caracterizar un puente térmico, estos son:

- El coeficiente de transmitancia térmica línea (ψ).
- El factor de temperatura, para la verificación de las condensaciones superficiales.

4.1. Coeficiente de transmitancia térmica lineal (ψ)

La transmitancia térmica lineal (ψ) describe la transferencia térmica adicional de un encuentro (un puente térmico lineal) en relación a la transferencia térmica

unidimensional de referencia que se produce en los elementos adyacentes. Este coeficiente permite resumir en un único parámetro el comportamiento complejo de un puente térmico, de forma similar a como la U lo hace para un elemento con transmisión unidimensional.

El cálculo de la componente unidimensional se mantiene para toda la superficie de la envolvente en la que se sitúa el puente térmico, al medirse linealmente el efecto del puente (en ψ) y descontarse en este la transmisión unidimensional.

El ψ se expresa en W/mK y viene determinado por la expresión:

$$\psi = \frac{\phi_{2D}}{L(\theta_i - \theta_e)} - \sum(A_i U_i) \text{ [W/mK]}$$

Donde,

ϕ_{2D} flujo de calor a través del elemento, analizado mediante un modelo bidimensional complejo y software [W]

L longitud del encuentro [m]

$\theta_i - \theta_e$ diferencia de temperaturas entre interior y exterior [K]

U_i transmitancia térmica del elemento adyacente i [W/m^2K]

A_i superficie a la que se aplica el valor U_i [m^2]

A modo de ejemplo, se expone a continuación el cálculo del puente térmico originado en la figura 10. Flujo de calor bidimensional en un balcón. Supongamos la franja de fachada sin ningún elemento como puente térmico (balcón) con una U de 0,44 W/m^2K. Si incorporamos el efecto del puente térmico que constituye balcón, el flujo de calor a través del elemento se verá alterado por la presencia del forjado que atraviesa la fachada, el cual tiene una U de 1,58 W/m^2K. El valor del flujo de calor ϕ_{2D} define el flujo transversal de calor que atraviesa la superficie de fachada estudiada (incluyendo el tramo superior de fachada, el canto del forjado y el tramo inferior de fachada) y es de 35,7 W/m, valor obtenido mediante un método de elementos finitos con un programa informático específico para cálculo de puentes térmicos. Al primer término de la expresión anterior, conocido como coeficiente de acoplamiento (ϕ_{2D} dividido por la diferencia de temperatura interior y exterior), hay que restarle un segundo término que viene determinado por la U de la fachada multiplicada por la longitud de la franja estudiada, de 2,42 m (1+0,42+1). Aplicando la expresión anterior, obtenemos un valor de ψ de 0,72 W/mK para el puente térmico del balcón.

$$\psi_e = \frac{35{,}7[W]}{[m](20-0)} - 0{,}44\left[W/m^2K\right] \times 2{,}42[m] = 0{,}72\left[W/mK\right]$$

Esta constituiría la forma general para calcular un puente térmico. El inconveniente de este procedimiento es la obtención de ϕ_{2D} para el que se requiere métodos complejos de estudio de la interferencia entre flujos de calor. Por ello, como veremos más adelante, el procedimiento habitual de cálculo recurre a métodos simplificados.

4.2. Factor de temperatura

La segunda consecuencia de los puentes térmicos es el aumento del riesgo de formación de condensaciones superficiales en la cara interior del elemento constructivo al existir puntos fríos en la zona afectada por el puente térmico, como resultado del mayor flujo térmico en esas zonas. Recordemos que cuando la temperatura del aire desciende por debajo de la temperatura de rocío, el exceso de humedad condensa en forma líquida (ver Figura 11. Flujo de calor bidimensional en un balcón).

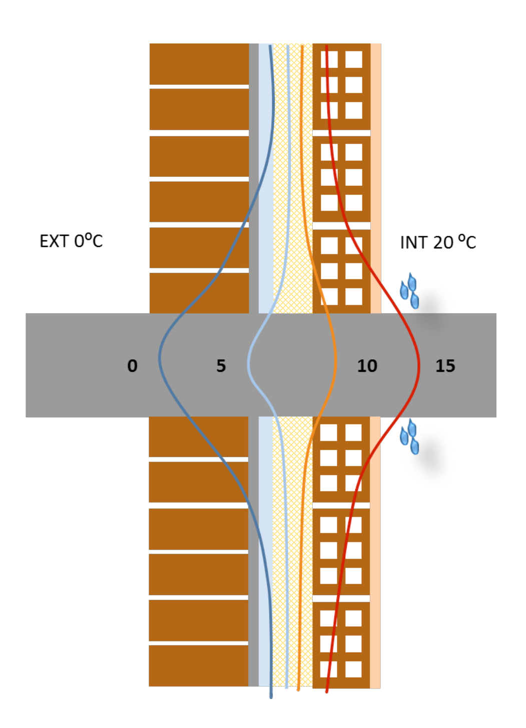


Figura 11. Flujo de calor bidimensional en un balcón

Las condensaciones superficiales suponen un riesgo para la salud al propiciar la formación de moho, habiéndose comprobado que este riesgo se incrementa significativamente al mantenerse una humedad relativa superior al 80 % en una superficie durante varios días.

Esta condición puede simplificarse y reformularse exigiendo que la temperatura de la superficie interior supere la temperatura superficial aceptable, la que implica una humedad relativa superior al 80 % en la superficie interior del cerramiento.

El método de los factores de temperatura permite hacer esa comprobación y consiste en comparar dos factores adimensionales:

- el factor de temperatura de la superficie interior (f_{Rsi})
- el factor de temperatura útil sobre la superficie interior ($f_{Rsi,min}$)

El primero debe ser mayor que el segundo en todos los meses del año:

$$f_{Rsi} > f_{Rsi,\mathrm{min}}$$

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

$$f_{Rsi,\mathrm{min}} = \frac{\theta_{si,\mathrm{min}} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

Donde,

ϕ_{si} temperatura mínima en la superficie interior del cerramiento [°C]

ϕ_i temperatura del ambiente interior [°C]

ϕ_e temperatura del ambiente exterior [°C]

$\phi_{si,min}$ temperatura superficial aceptable [°C]

La Tabla 1. Factor de temperatura de la superficie interior mínimo fRsi, min (según CTE DA DB HE/2) recoge los valores de $f_{Rsi,min}$ para todas las zonas climáticas, obtenidas considerando las condiciones de cálculo reglamentarias.

Siguiendo con el ejemplo anterior expuesto en la Figura 11. Flujo de calor bidimensional en un balcón, supongamos una temperatura superficial interior del cerramiento de fachada de 9,5°C y una temperatura exterior de 0°C. Para verificar el riesgo de producción de condensaciones aplicaremos las expresiones anteriores:

$$f_{Rsi} = \frac{9{,}5 - 0}{20 - 0} = 0{,}48$$

f_{Rsi} tiene un valor de 0,52 según la Tabla 1. Factor de temperatura de la superficie interior mínimo fRsi, min (según CTE DA DB HE/2), para estancias con higrometría 3 o inferior.

0,48 < 0,52, por lo tanto, existe riesgo de formación de condensaciones en el cerramiento de fachada.

Se aprecia pues que valores bajos de f_{Rsi} implican que la temperatura superficial sea baja y consecuentemente el riesgo de formación de condensaciones y/o moho sea elevado.

Cabe destacar que no existe ninguna relación directa entre ψ y f_{Rsi} por lo que ambos deben calcularse de forma independiente y simultánea. Ciertos puentes térmicos pueden ser energéticamente poco relevantes pero resultar críticos desde el punto de vista de condensaciones.

Es importante apuntar que la expresión $f_{rsi} = 1 - U \cdot 0,25$ vista en el apartado 3. Condensaciones para calcular el factor de temperatura y realizar la comprobación de condensaciones superficiales, no es válida en el caso de los puentes térmicos. Dicha expresión solo puede aplicarse a elementos en los que el flujo de calor es unidimensional y, por tanto, no en puentes térmicos, donde el flujo de calor es, como mínimo, bidimensional.

4.3. Cálculo simplificado: atlas de puentes térmicos

De forma simplificada, el CTE en su Documento de Apoyo al DB HE (DA DB HE/3 Puentes térmicos), recoge en forma de atlas unos valores aproximados de la transmitancia térmica lineal ψ para las soluciones constructivas más comunes.

Las soluciones se han agrupado por familias de detalles y, estas, en grupos ordenados de mejor a peor comportamiento (de menor a mayor valor de ψ):

- Pilares integrados en fachada
  - Grupo 1: Pilares integrados en fachada con continuidad del aislamiento en fachada.
  - Grupo 2: Pilares integrados en fachada sin continuidad del aislamiento de fachada.

- Jambas
  - Grupo 1: Jambas con continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería.
  - Grupo 2: Jambas sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería.

— Grupo 3: Jambas sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería, con una separación importante entre estos elementos.

- Dinteles

— Grupo 1: Dinteles con continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería.
— Grupo 2: Dinteles sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería.
— Grupo 3: Dinteles sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería, con cargadero pasante y carpintería a haces exteriores.

- Alféizares

— Grupo 1: Alfeizares con continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería.
— Grupo 2: Alfeizares sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería, sin gran separación entre ambos elementos, y alfeizares en fachadas de una hoja sin aislamiento.
— Grupo 3: Alfeizares sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería, con gran separación entre ellos.

- Capialzados

— Grupo 1: Capialzados de PVC o madera con aislamiento.
— Grupo 2: Capialzados de PVC o madera sin aislamiento.
— Grupo 3: Capialzados metálicos.

- Frentes de forjados

— Grupo 1: Frentes de forjado con continuidad del aislamiento de fachada.
— Grupo 2: Frentes de forjado sin continuidad del aislamiento de fachada.

- Cubiertas planas

— Grupo 1: Cubiertas planas con continuidad entre el aislamiento de fachada y el de cubierta.
— Grupo 2: Cubiertas planas sin continuidad entre el aislamiento de fachada y el de cubierta.

- Esquinas

— Grupo 1: Esquinas salientes (al exterior).
— Grupo 2: Esquinas entrantes (al interior).

- Forjados inferiores en contacto con el aire exterior

- Grupo 1: Forjados inferiores en contacto con el aire con aislamiento sobre el forjado o con continuidad entre el aislamiento de fachada y del forjado.
- Grupo 2: Forjados inferiores en contacto con el aire con aislamiento bajo el forjado, sin continuidad entre el aislamiento de fachada y el del forjado.

- Suelos en contacto con el terreno

  - Grupo 1: Suelos en contacto con el terreno con continuidad entre el aislamiento de fachada y de solera.
  - Grupo 2: Suelos en contacto con el terreno sin continuidad entre el aislamiento de fachada y de solera.
  - Grupo 3: Suelos en contacto con el terreno sin aislamiento en fachada.

Cabe destacar que, en general, se aprecia que el factor más determinante para mejorar el comportamiento de los detalles constructivos es mantener la continuidad del aislamiento térmico entre los diferentes elementos que interfieren en el encuentro.

A continuación, en la Tabla 3. Puentes térmicos integrados y de encuentro relacionados con los elementos estructurales y tabla 4, se expone el procedimiento de cálculo del valor de ψ para cada uno de los tipos de puentes térmicos, obtenido a partir de las tablas correspondientes. Se considera preferible utilizar el sistema de dimensiones interiores, ya que es el más habitual en nuestro entorno normativo, por lo que aunque en el DA DB HE/3 podemos encontrar los valores tanto para el criterio de dimensiones interiores como exteriores, en dichas tablas únicamente se recoge el criterio de dimensiones interiores. Para aquellos valores de elementos que no correspondan con las tablas del atlas, se puede llevar a cabo una interpolación o extrapolación a partir de los valores aportados en ellas.

Estas mismas soluciones pueden obtenerse a partir de la Herramienta Unificada LIDER-CALENER, seleccionando la opción «valores definidos por catálogo».

Tabla 3. Puentes térmicos integrados y de encuentro relacionados con los elementos estructurales

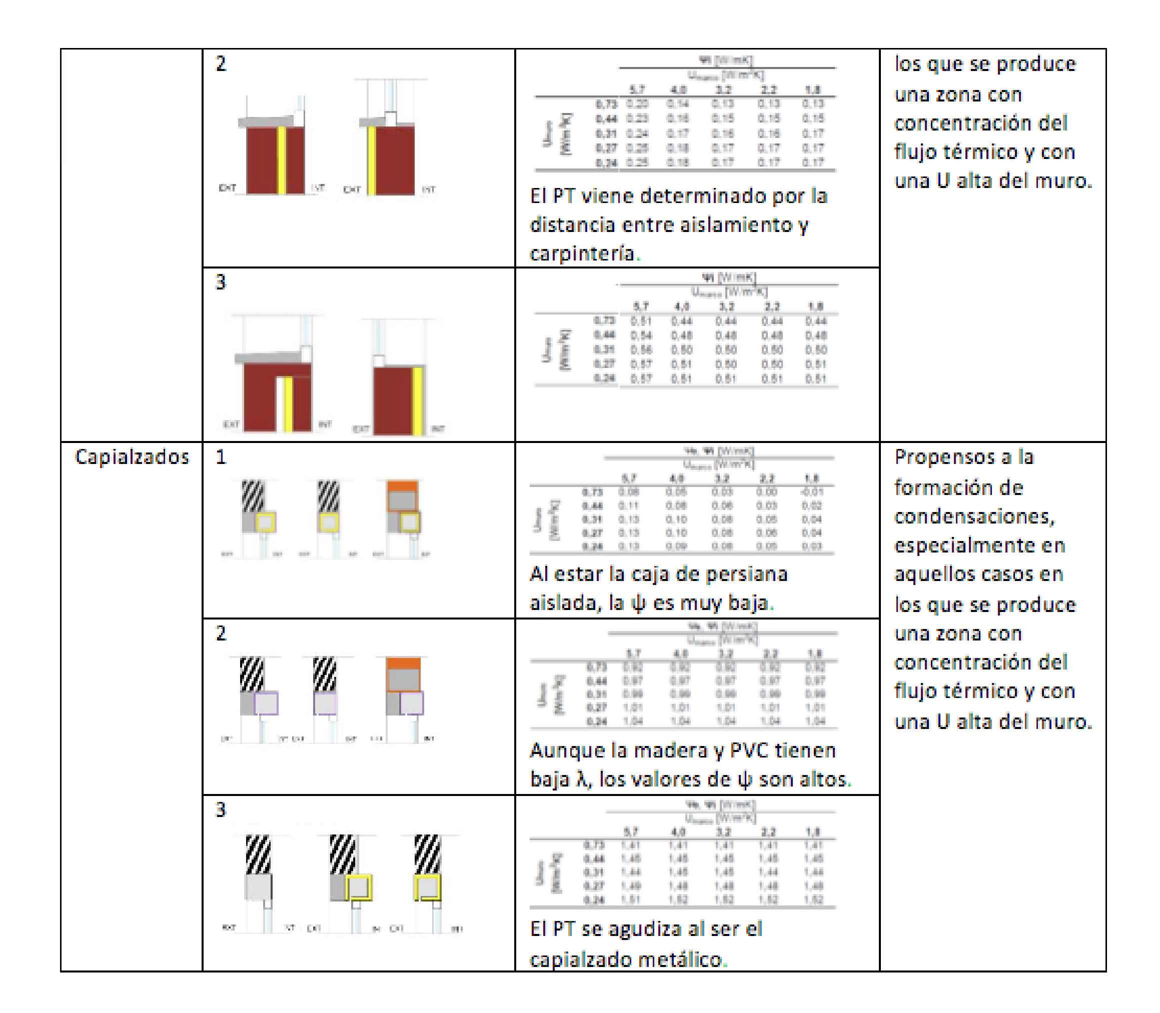
Elemento	**Grupo**	**ψ**	**Riesgo cond. superficial**
Pilares	1 EXT / INT	ψe, ψi [W/mK] Dimensiones pilar [cm x cm]: 20x20 / 30x30 U_{muro} [W/m²K] 0,73: 0,02 0,44: 0,01 0,31: 0,00 0,27: 0,00 0,24: 0,00 Los valores de ψ son despreciables.	En clases higrométricas 4 y 5, z.c. D y E, con muros U alta. Puntos débiles: rincón pared-pilar y punto central de la cara interior del pilar.
	2 EXT / INT	ψe, ψi [W/mK] Dimensiones pilar [cm x cm]: 25x25 / 30x30 / 35x35 U_{muro} [W/m²K] 0,73: 1,03 / 1,20 / 1,36 0,44: 1,05 / 1,24 / 1,40 0,31: 1,00 / 1,20 / 1,37 0,27: 0,97 / 1,17 / 1,35 0,24: 0,94 / 1,15 / 1,32 Los valores de ψ aumentan con la dimensión del pilar.	En todas las clases higrométricas y z.c. (excepto z.c. α). Puntos débiles: rincón pared-pilar y punto central de la cara interior del pilar.
Frentes de forjados	1 EXT / INT	ψi [W/mK] Espesor forjado (cm): 25 / 30 / 35 U_{muro} [W/m²K] 0,73: 0,25 / 0,29 / 0,33 0,44: 0,15 / 0,17 / 0,19 0,31: 0,10 / 0,12 / 0,13 0,27: 0,09 / 0,10 / 0,12 0,24: 0,08 / 0,09 / 0,10 Valores de ψ bajos al pasar el aislante por delante del forjado.	Riesgo en clase higrométrica 3 o inferior en las z.c. D y E con cantos de forjado elevados. En clases higrométricas 4 y 5 en z.c. D y E. En todas las z.c. (excepto α) con muros con U alta. Punto débil: rincón entre muro y forjado.
	2 EXT / INT	ψi [W/mK] Espesor forjado (cm): 25 / 30 / 35 U_{muro} [W/m²K] 0,73: 0,88 / 0,97 / 1,07 0,44: 0,81 / 0,91 / 0,99 0,31: 0,75 / 0,84 / 0,92 0,27: 0,72 / 0,81 / 0,89 0,24: 0,70 / 0,78 / 0,86 Al ser el hormigón buen conductor del calor y no estar este aislado, se produce PT.	Riesgo en clase higrométrica 3 o inferior en z.c. C, D y E. En z.c. A y B con alta U de muro. En clases higrométricas 4 y 5 en todas las z.c. Punto débil: rincón entre muro y forjado.
Cubiertas planas	1 EXT / INT	ψi [W/mK] $U_{cubierta}$ [W/m²K]: 0,50 / 0,38 / 0,28 / 0,28 / 0,28 U_{muro} [W/m²K] 0,73: 0,37 / 0,37 / 0,35 / 0,35 / 0,35 0,44: 0,32 / 0,3 / 0,28 / 0,28 / 0,28 0,31: 0,29 / 0,27 / 0,25 / 0,25 / 0,25 0,27: 0,29 / 0,27 / 0,24 / 0,24 / 0,24 0,24: 0,28 / 0,26 / 0,24 / 0,24 / 0,24 La continuidad del aislante favorece un PT bajo.	Riesgo en clase higrométrica 3 o inferior con alta U de muro. En clases higrométricas 4 y 5 en todas las z.c. (excepto α) con baja

<table>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>U de muros.</td></tr>
<tr><td></td><td>2</td><td><table><tr><th></th><th colspan="5">Ψi [W/mK]
U_{cubierta} [W/m²K]</th></tr><tr><th>U_{muro} [W/m²K]</th><th>0,50</th><th>0,38</th><th>0,28</th><th>0,28</th><th>0,28</th></tr><tr><td>0,73</td><td>0,93</td><td>0,96</td><td>0,99</td><td>0,99</td><td>0,99</td></tr><tr><td>0,44</td><td>0,90</td><td>0,93</td><td>0,96</td><td>0,96</td><td>0,96</td></tr><tr><td>0,31</td><td>0,85</td><td>0,88</td><td>0,91</td><td>0,91</td><td>0,91</td></tr><tr><td>0,27</td><td>0,82</td><td>0,85</td><td>0,88</td><td>0,88</td><td>0,88</td></tr><tr><td>0,24</td><td>0,80</td><td>0,83</td><td>0,85</td><td>0,85</td><td>0,85</td></tr></table>La ψ empeora al aumentar la R_t de la cubierta.</td><td>Riesgo en todas las clases higrométricas y en todas las zonas climáticas.
Punto débil: rincón entre muro y cubierta.</td></tr>
<tr><td>Esquinas</td><td>1</td><td><table><tr><th>U_{muro} [W/m²K]</th><th>Ψe [W/mK]</th><th>Ψi [W/mK]</th></tr><tr><td>0,73</td><td>-0,24</td><td>0,11</td></tr><tr><td>0,44</td><td>-0,15</td><td>0,08</td></tr><tr><td>0,31</td><td>-0,11</td><td>0,06</td></tr><tr><td>0,27</td><td>-0,10</td><td>0,06</td></tr><tr><td>0,24</td><td>-0,10</td><td>0,05</td></tr></table>El PT se genera por razones geométricas y no constructivas, pero se debe tener en cuenta.</td><td>En clases higrométricas 4 y 5 en z.c. D y E.
En z.c. A, B, C y D con alta U de muro.</td></tr>
<tr><td></td><td>2</td><td><table><tr><th>U_{muro} [W/m²K]</th><th>Ψe [W/mK]</th><th>Ψi [W/mK]</th></tr><tr><td>0,73</td><td>0,18</td><td>-0,16</td></tr><tr><td>0,44</td><td>0,12</td><td>-0,11</td></tr><tr><td>0,31</td><td>0,09</td><td>-0,08</td></tr><tr><td>0,27</td><td>0,08</td><td>-0,08</td></tr><tr><td>0,24</td><td>0,08</td><td>-0,07</td></tr></table>El signo es el opuesto que en el caso anterior.</td><td>Sin riesgo adicional de formación de condensaciones superficiales.</td></tr>
<tr><td>Forjados inferiores en contacto con el aire exterior</td><td>1</td><td><table><tr><th></th><th colspan="5">Ψi [W/mK]
U_{suelo} [W/m²K]</th></tr><tr><th>U_{muro} [W/m²K]</th><th>0,53</th><th>0,52</th><th>0,42</th><th>0,37</th><th>0,32</th></tr><tr><td>0,73</td><td>0,26</td><td>0,52</td><td>0,24</td><td>0,23</td><td>0,22</td></tr><tr><td>0,44</td><td>0,26</td><td>0,26</td><td>0,24</td><td>0,23</td><td>0,22</td></tr><tr><td>0,31</td><td>0,27</td><td>0,27</td><td>0,24</td><td>0,23</td><td>0,22</td></tr><tr><td>0,27</td><td>0,27</td><td>0,27</td><td>0,24</td><td>0,23</td><td>0,22</td></tr><tr><td>0,24</td><td>0,27</td><td>0,27</td><td>0,25</td><td>0,23</td><td>0,22</td></tr></table>La continuidad del aislamiento favorece el buen comportamiento del PT.</td><td>En clase higrométrica 3 o inferior en las zonas climáticas D y E y en el resto de z.c. con U alta del muro.
En clase higrométrica 4 y 5 en todas las z.c.</td></tr>
<tr><td></td><td>2</td><td><table><tr><th></th><th colspan="5">Ψi [W/mK]
U_{suelo} [W/m²K]</th></tr><tr><th>U_{muro} [W/m²K]</th><th>0,53</th><th>0,52</th><th>0,42</th><th>0,37</th><th>0,32</th></tr><tr><td>0,73</td><td>0,80</td><td>0,81</td><td>0,84</td><td>0,86</td><td>0,88</td></tr><tr><td>0,44</td><td>0,79</td><td>0,79</td><td>0,82</td><td>0,84</td><td>0,86</td></tr><tr><td>0,31</td><td>0,77</td><td>0,77</td><td>0,80</td><td>0,82</td><td>0,83</td></tr><tr><td>0,27</td><td>0,76</td><td>0,76</td><td>0,79</td><td>0,81</td><td>0,82</td></tr><tr><td>0,24</td><td>0,75</td><td>0,75</td><td>0,78</td><td>0,80</td><td>0,81</td></tr></table>La ψ aumenta cuando disminuye la U de los cerramientos.</td><td>En todas las z.c. para todas las clases higrométricas.</td></tr>
<tr><td>Suelos en contacto con el terreno</td><td>1</td><td><table><tr><th></th><th colspan="5">Ψi [W/mK]
U_{suelo} [W/m²K]</th></tr><tr><th>U_{muro} [W/m²K]</th><th>0,53</th><th>0,52</th><th>0,42</th><th>0,37</th><th>0,32</th></tr><tr><td>0,73</td><td>0,31</td><td>0,30</td><td>0,23</td><td>0,19</td><td>0,15</td></tr><tr><td>0,44</td><td>0,38</td><td>0,37</td><td>0,30</td><td>0,26</td><td>0,22</td></tr><tr><td>0,31</td><td>0,42</td><td>0,41</td><td>0,33</td><td>0,29</td><td>0,25</td></tr><tr><td>0,27</td><td>0,43</td><td>0,42</td><td>0,35</td><td>0,30</td><td>0,26</td></tr><tr><td>0,24</td><td>0,44</td><td>0,43</td><td>0,36</td><td>0,31</td><td>0,27</td></tr></table></td><td>En clase higrométrica 3 o inferior en las zonas climáticas D y E.
En clases de higrometría 4 y 5 en todas las z.c.
Punto débil: encuentro entre muro y el suelo.</td></tr>
<tr><td></td><td>2</td><td><table><tr><th></th><th colspan="5">Ψi [W/mK]
U_{solera} [W/m²K]</th></tr><tr><th>U_{muro} [W/m²K]</th><th>0,53</th><th>0,52</th><th>0,42</th><th>0,37</th><th>0,32</th></tr><tr><td>0,73</td><td>0,44</td><td>0,43</td><td>0,35</td><td>0,31</td><td>0,26</td></tr><tr><td>0,44</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,44</td><td>0,40</td><td>0,35</td></tr><tr><td>0,31</td><td>0,57</td><td>0,56</td><td>0,48</td><td>0,43</td><td>0,39</td></tr><tr><td>0,27</td><td>0,58</td><td>0,57</td><td>0,49</td><td>0,45</td><td>0,40</td></tr><tr><td>0,24</td><td>0,59</td><td>0,58</td><td>0,50</td><td>0,45</td><td>0,41</td></tr></table>El PT se forma por razones geométricas y por la discontinuidad del aislamiento. Aunque el PT no es demasiado</td><td>En clase higrométrica 3 o inferior en las zonas climáticas D y E.
En clases de higrometría 4 y 5 en todas las z.c.
Punto débil:</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td><td>significativo se debe evitar en la medida de lo posible.</td><td>encuentro entre muro y el suelo.</td></tr>
<tr><td></td><td>3</td><td>
<table>
<tr><td></td><td></td><td>Ψi [W/mK]</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>U_{solera} [W/m²K]</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,42</td><td>0,37</td><td>0,32</td></tr>
<tr><td>U_{muro} [W/m²K]</td><td>0,86</td><td>0,34</td><td>0,34</td><td>0,27</td><td>0,23</td><td>0,18</td></tr>
<tr><td></td><td>0,84</td><td>0,39</td><td>0,38</td><td>0,31</td><td>0,27</td><td>0,23</td></tr>
</table>
Valores obtenidos para muros de termoarcilla de 24 y 29 cm.</td><td>En clase higrométrica 3 o inferior en las zonas climáticas D y E.
En clases de higrometría 4 y 5 en todas las z.c.
Punto débil: encuentro entre muro y el suelo.</td></tr>
</table>

Tabla 4. Puentes térmicos integrados y de encuentro relacionados con el hueco

<table>
<tr><th>Elemento</th><th>Grupo</th><th>ψ</th><th>Riesgo cond. superficial</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Jambas</td><td>1</td><td>
<table>
<tr><td></td><td colspan="5">Ψi [W/mK]
Umarco [W/m²K]</td></tr>
<tr><td></td><td>5,7</td><td>4,0</td><td>3,2</td><td>2,2</td><td>1,8</td></tr>
<tr><td>U muro [W/m²K] 0,73</td><td>0,38</td><td>0,17</td><td>0,12</td><td>0,07</td><td>0,05</td></tr>
<tr><td>0,44</td><td>0,42</td><td>0,16</td><td>0,10</td><td>0,05</td><td>0,03</td></tr>
<tr><td>0,31</td><td>0,22</td><td>0,11</td><td>0,07</td><td>0,04</td><td>0,03</td></tr>
<tr><td>0,27</td><td>0,20</td><td>0,10</td><td>0,07</td><td>0,04</td><td>0,03</td></tr>
<tr><td>0,24</td><td>0,20</td><td>0,10</td><td>0,07</td><td>0,04</td><td>0,03</td></tr>
</table>
La continuidad entre aislamiento y carpintería hace que el PT sea prácticamente nulo.</td><td rowspan="3">Propensos a la formación de condensaciones, especialmente en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con una U alta del muro.</td></tr>
<tr><td>2</td><td>
<table>
<tr><td></td><td colspan="5">Ψi [W/mK]
U marco [W/m²K]</td></tr>
<tr><td></td><td>5,7</td><td>4,0</td><td>3,2</td><td>2,2</td><td>1,8</td></tr>
<tr><td>U muro [W/m²K] 0,73</td><td>0,47</td><td>0,39</td><td>0,40</td><td>0,41</td><td>0,41</td></tr>
<tr><td>0,44</td><td>0,49</td><td>0,42</td><td>0,43</td><td>0,44</td><td>0,44</td></tr>
<tr><td>0,31</td><td>0,50</td><td>0,43</td><td>0,43</td><td>0,44</td><td>0,45</td></tr>
<tr><td>0,27</td><td>0,50</td><td>0,43</td><td>0,43</td><td>0,44</td><td>0,45</td></tr>
<tr><td>0,24</td><td>0,50</td><td>0,43</td><td>0,43</td><td>0,44</td><td>0,45</td></tr>
</table>
El PT incrementa cuanto mayor es la R_t del aislamiento.</td></tr>
<tr><td>3</td><td>
<table>
<tr><td></td><td colspan="5">Ψi [W/mK]
U marco [W/m²K]</td></tr>
<tr><td></td><td>5,7</td><td>4,0</td><td>3,2</td><td>2,2</td><td>1,8</td></tr>
<tr><td>U muro [W/m²K] 0,73</td><td>0,58</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,52</td><td>0,52</td></tr>
<tr><td>0,44</td><td>0,63</td><td>0,58</td><td>0,58</td><td>0,58</td><td>0,58</td></tr>
<tr><td>0,31</td><td>0,65</td><td>0,60</td><td>0,60</td><td>0,60</td><td>0,60</td></tr>
<tr><td>0,27</td><td>0,66</td><td>0,61</td><td>0,61</td><td>0,61</td><td>0,61</td></tr>
<tr><td>0,24</td><td>0,66</td><td>0,62</td><td>0,61</td><td>0,61</td><td>0,61</td></tr>
</table>
La separación entre aislamiento y carpintería acusa el PT.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Dinteles</td><td>1</td><td>
<table>
<tr><td></td><td colspan="5">Ψi [W/mK]
U marco [W/m²K]</td></tr>
<tr><td></td><td>5,7</td><td>4,0</td><td>3,2</td><td>2,2</td><td>1,8</td></tr>
<tr><td>U muro [W/m²K] 0,73</td><td>0,30</td><td>0,11</td><td>0,10</td><td>0,12</td><td>0,13</td></tr>
<tr><td>0,44</td><td>0,32</td><td>0,11</td><td>0,10</td><td>0,11</td><td>0,12</td></tr>
<tr><td>0,31</td><td>0,16</td><td>0,07</td><td>0,08</td><td>0,09</td><td>0,10</td></tr>
<tr><td>0,27</td><td>0,14</td><td>0,06</td><td>0,06</td><td>0,08</td><td>0,09</td></tr>
<tr><td>0,24</td><td>0,14</td><td>0,05</td><td>0,06</td><td>0,08</td><td>0,09</td></tr>
</table>
Valores de ψ generalmente bajos. El punto de condensación está en la unión de la carpintería con el muro, y se acentúa cuando la carpintería es metálica (punto frío). Cuando es de madera, se aconseja esté tratada.</td><td rowspan="3">Propensos a la formación de condensaciones, especialmente en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con una U alta del muro.</td></tr>
<tr><td>2</td><td>
<table>
<tr><td></td><td colspan="5">Ψi [W/mK]
U marco [W/m²K]</td></tr>
<tr><td></td><td>5,7</td><td>4,0</td><td>3,2</td><td>2,2</td><td>1,8</td></tr>
<tr><td>U muro [W/m²K] 0,73</td><td>0,62</td><td>0,60</td><td>0,62</td><td>0,64</td><td>0,65</td></tr>
<tr><td>0,44</td><td>0,69</td><td>0,67</td><td>0,68</td><td>0,70</td><td>0,71</td></tr>
<tr><td>0,31</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,72</td><td>0,74</td><td>0,74</td></tr>
<tr><td>0,27</td><td>0,74</td><td>0,72</td><td>0,73</td><td>0,75</td><td>0,76</td></tr>
<tr><td>0,24</td><td>0,75</td><td>0,73</td><td>0,74</td><td>0,76</td><td>0,77</td></tr>
</table>
Cuando disminuyen las U de carpintería y muro, el PT se agudiza.</td></tr>
<tr><td>3</td><td>
<table>
<tr><td></td><td colspan="5">Ψi [W/mK]
U marco [W/m²K]</td></tr>
<tr><td></td><td>5,7</td><td>4,0</td><td>3,2</td><td>2,2</td><td>1,8</td></tr>
<tr><td>U muro [W/m²K] 0,73</td><td>0,80</td><td>0,81</td><td>0,82</td><td>0,84</td><td>0,85</td></tr>
<tr><td>0,44</td><td>0,88</td><td>0,88</td><td>0,89</td><td>0,91</td><td>0,92</td></tr>
<tr><td>0,31</td><td>0,93</td><td>0,93</td><td>0,94</td><td>0,96</td><td>0,96</td></tr>
<tr><td>0,27</td><td>0,95</td><td>0,94</td><td>0,96</td><td>0,97</td><td>0,98</td></tr>
<tr><td>0,24</td><td>0,97</td><td>0,96</td><td>0,97</td><td>0,99</td><td>1,00</td></tr>
</table>
Valores altos debido a la distancia entre aislamiento y carpintería, así como a la utilización de dintel metálico.</td></tr>
<tr><td>Alféizares</td><td>1</td><td>
<table>
<tr><td></td><td colspan="5">Ψi [W/mK]
U marco [W/m²K]</td></tr>
<tr><td></td><td>5,7</td><td>4,0</td><td>3,2</td><td>2,2</td><td>1,8</td></tr>
<tr><td>U muro [W/m²K] 0,73</td><td>0,25</td><td>0,12</td><td>0,10</td><td>0,09</td><td>0,09</td></tr>
<tr><td>0,44</td><td>0,24</td><td>0,12</td><td>0,10</td><td>0,09</td><td>0,09</td></tr>
<tr><td>0,31</td><td>0,19</td><td>0,11</td><td>0,09</td><td>0,08</td><td>0,08</td></tr>
<tr><td>0,27</td><td>0,18</td><td>0,10</td><td>0,09</td><td>0,08</td><td>0,08</td></tr>
<tr><td>0,24</td><td>0,17</td><td>0,10</td><td>0,08</td><td>0,08</td><td>0,08</td></tr>
</table>
El PT es muy bajo</td><td>Propensos a la formación de condensaciones, especialmente en aquellos casos en</td></tr>
</table>



	2		Ψl [W/mK] Umarco [W/m²K]: 5,7 / 4,0 / 3,2 / 2,2 / 1,8 Umuro [W/m²K] 0,73: 0,20 / 0,14 / 0,13 / 0,13 / 0,13 0,44: 0,23 / 0,16 / 0,15 / 0,15 / 0,15 0,31: 0,24 / 0,17 / 0,16 / 0,16 / 0,17 0,27: 0,25 / 0,18 / 0,17 / 0,17 / 0,17 0,24: 0,25 / 0,18 / 0,17 / 0,17 / 0,17 El PT viene determinado por la distancia entre aislamiento y carpintería.	los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con una U alta del muro.
	3		Ψl [W/mK] Umarco [W/m²K]: 5,7 / 4,0 / 3,2 / 2,2 / 1,8 Umuro [W/m²K] 0,73: 0,51 / 0,44 / 0,44 / 0,44 / 0,44 0,44: 0,54 / 0,48 / 0,48 / 0,48 / 0,48 0,31: 0,56 / 0,50 / 0,50 / 0,50 / 0,50 0,27: 0,57 / 0,51 / 0,50 / 0,50 / 0,51 0,24: 0,57 / 0,51 / 0,51 / 0,51 / 0,51	
Capialzados	1		Ψe, Ψl [W/mK] Umarco [W/m²K]: 5,7 / 4,0 / 3,2 / 2,2 / 1,8 Umuro [W/m²K] 0,73: 0,08 / 0,05 / 0,03 / 0,00 / -0,01 0,44: 0,11 / 0,08 / 0,06 / 0,03 / 0,02 0,31: 0,13 / 0,10 / 0,08 / 0,05 / 0,04 0,27: 0,13 / 0,10 / 0,08 / 0,06 / 0,04 0,24: 0,13 / 0,09 / 0,08 / 0,05 / 0,03 Al estar la caja de persiana aislada, la ψ es muy baja.	Propensos a la formación de condensaciones, especialmente en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con una U alta del muro.
	2		Ψe, Ψl [W/mK] Umarco [W/m²K]: 5,7 / 4,0 / 3,2 / 2,2 / 1,8 Umuro [W/m²K] 0,73: 0,92 / 0,92 / 0,92 / 0,92 / 0,92 0,44: 0,97 / 0,97 / 0,97 / 0,97 / 0,97 0,31: 0,99 / 0,99 / 0,99 / 0,99 / 0,99 0,27: 1,01 / 1,01 / 1,01 / 1,01 / 1,01 0,24: 1,04 / 1,04 / 1,04 / 1,04 / 1,04 Aunque la madera y PVC tienen baja λ, los valores de ψ son altos.	
	3		Ψe, Ψl [W/mK] Umarco [W/m²K]: 5,7 / 4,0 / 3,2 / 2,2 / 1,8 Umuro [W/m²K] 0,73: 1,41 / 1,41 / 1,41 / 1,41 / 1,41 0,44: 1,45 / 1,45 / 1,45 / 1,45 / 1,45 0,31: 1,44 / 1,45 / 1,45 / 1,44 / 1,44 0,27: 1,49 / 1,48 / 1,48 / 1,48 / 1,48 0,24: 1,51 / 1,52 / 1,52 / 1,52 / 1,52 El PT se agudiza al ser el capialzado metálico.	

4.4. Recomendaciones para evitar los puentes térmicos

Como se ha apuntado anteriormente, los puentes térmicos tienen como consecuencia grandes pérdidas de calor y un riesgo potencial de formación de condensaciones, lo que lleva asociado la aparición de moho. Los puentes térmicos pueden darse en cualquier elemento de la envolvente, como las cubiertas y los suelos, pero particularmente su impacto es mayor en los cerramientos verticales, donde se pierde con frecuencia la continuidad y la homogeneidad por la presencia de huecos (jambas, alféizares y dinteles), encuentros con elementos estructurales (vigas, forjados, pilares) u otros elementos como hornacinas.

En el análisis de temperaturas y transmitancias térmicas, la posición del aislamiento térmico no es un parámetro importante para el caso de pérdidas de calor: las pérdidas a través de la discontinuidad de aislamiento térmico son aproximadamente las mismas para un sistema de aislamiento por el exterior que para un sistema de aislamiento por el interior. Al contrario, en el análisis de condensaciones, la posición del aislamiento térmico sí es un parámetro decisivo, pudiendo ser clave desde el punto de vista del riesgo de condensación:

- Con el aislamiento instalado por el interior del cerramiento, cualquier discontinuidad que sufra este tendrá un fuerte efecto sobre la temperatura superficial: el aire interior entrará en contacto con un cerramiento básicamente frío.
- Con el aislamiento instalado por el exterior, cualquier discontinuidad que sufra tendrá un efecto débil sobre la temperatura superficial: el aire interior entrará en contacto con un cerramiento caliente.
- Con el aislamiento en la cámara de aire interpuesta entre las dos hojas del cerramiento, el efecto de las discontinuidades será intermedio.

Por tanto, siguiendo este criterio, siempre será preferible aislar por el exterior, para limitar el riesgo de formación de condensaciones superficiales. Esta opción tiene, a su vez, otra ventaja, y es que permite aprovechar totalmente la inercia térmica del cerramiento.

Uno de los puentes térmicos más habituales y que se encuentra con gran frecuencia en nuestra tradición constructiva se debe a la carencia de aislamiento térmico en los frentes de forjados. Para solucionar este encuentro puede optarse por diferentes soluciones (ver figura 12. Soluciones constructivas para el frente de forjado).

Un aspecto aconsejable es disponer aislamientos rígidos, como vidrio celular o XPS, altamente resistentes a la compresión, colocados como fondo perdido de encofrado previamente a hormigonar el forjado, por ofrecer estos una superficie bastante adherente al hormigón durante su fraguado. En este caso, se debe prestar especial atención a no comprometer la estabilidad del muro, confiando en la resistencia del aislamiento para apoyar parte de la fábrica. En tal caso, se suele recurrir a la disposición de un angular metálico fijado al frente del forjado que una con firmeza la hoja exterior del muro con cada uno de los forjados de planta.

Otra posibilidad es colocar el aislante bajo y sobre el forjado (en falso techo y suelo), en forma de banda perimetral.

Otra opción sería ejecutar fachadas no apoyadas sobre el forjado sino pasantes por el exterior y disponer un sistema de aislamiento exterior que anule los puentes térmicos. Esta solución no es tradicional en España, aunque sí en otros países, como por ejemplo Reino Unido.

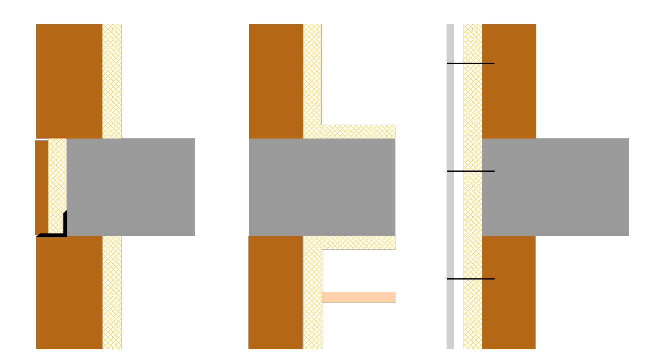
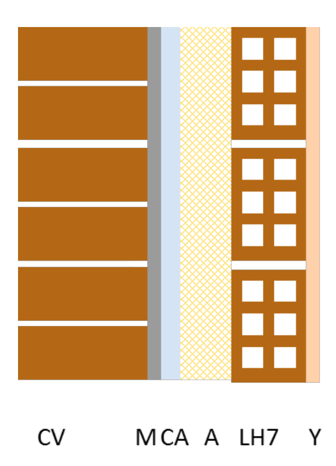


Figura 12. Soluciones constructivas para el frente de forjado

5. Ejemplo de aplicación 1: verificación de condensaciones

Se pide realizar la comprobación de condensaciones superficiales e intersticiales en la solución constructiva de fachada definida en la figura 13, suponiendo que se va a incorporar en un edificio residencial ubicado en la localidad Ares del Maestrat (altitud 1188 msnm) en la provincia de Castellón.



Datos:

Material	λ *(W/mK)*	μ
CV ladrillo caravista (12 cm)	0,567	10
M mortero (1,5 cm)	1,800	10
CA cámara de aire (2 cm)		1
A aislamiento MW (4 cm)	0,040	1
LH7 ladrillo hueco doble (7 cm)	0,432	10
Y enlucido de yeso (1,5 cm)	0,400	6

Figura 13. Ejemplo de aplicación 1. Solución de fachada

SOLUCIÓN:

1) *Comprobación de condensaciones superficiales.*

Zona climática: E1 (tabla B1 del Apéndice B del CTE DB HE1)

R_{se}= 0,040 m^{2}K/W (tabla 2 del CTE DA DB HE/1)

R_{si}= 0,130 m^{2}K/W (tabla 2 del CTE DA DB HE/1)

R_{CV}= 0,12/0,567= 0,210 m^{2}K/W

R_M= 0,015/1,8= 0,008 m^{2}K/W

R_{CA}= 0,150 m^{2}K/W

R_A= 0,04/0,040= 1 m^{2}K/W

R_{LH7}= 0,07/0,432= 0,162 m^{2}K/W

R_Y=0,015/0,400 = 0,038 m^{2}K/W

R_T=0,040+0,210+0,008+0,150+1,000+0,162+0,038+0,130= 1,734 m^{2}K/W

U=1/ R_T=0,576 W/m^{2}K < $U_{máx}$= 1 W/m^{2}K (tabla 2.3 del CTE DB HE1)

La transmitancia térmica de la fachada es menor que la transmitancia térmica máxima definida en la tabla 2.3 del CTE DB HE1, lo que asegura que no se producen condensaciones superficiales en el cerramiento, al tener los espacios una higrometría 3 (4 o inferior).

No obstante, se realiza la comprobación mediante el procedimiento de cálculo:

$$f_{Rsi} = 1 - U \cdot 0{,}25 = 1 - 0{,}576 \cdot 0{,}25 = 0{,}856 > 0{,}64$$

El factor $f_{Rsi,min}$ para la zona climática E en espacios de higrometría 3, es de 0,64 (Tabla 1. Factor de temperatura de la superficie interior mínimo fRsi, min (según CTE DA DB HE/2)). Puesto que el f_{Rsi} del cerramiento es mayor que $f_{Rsi,min}$, se verifica que no se producen condensaciones superficiales.

2) *Comprobación de condensaciones intersticiales.*

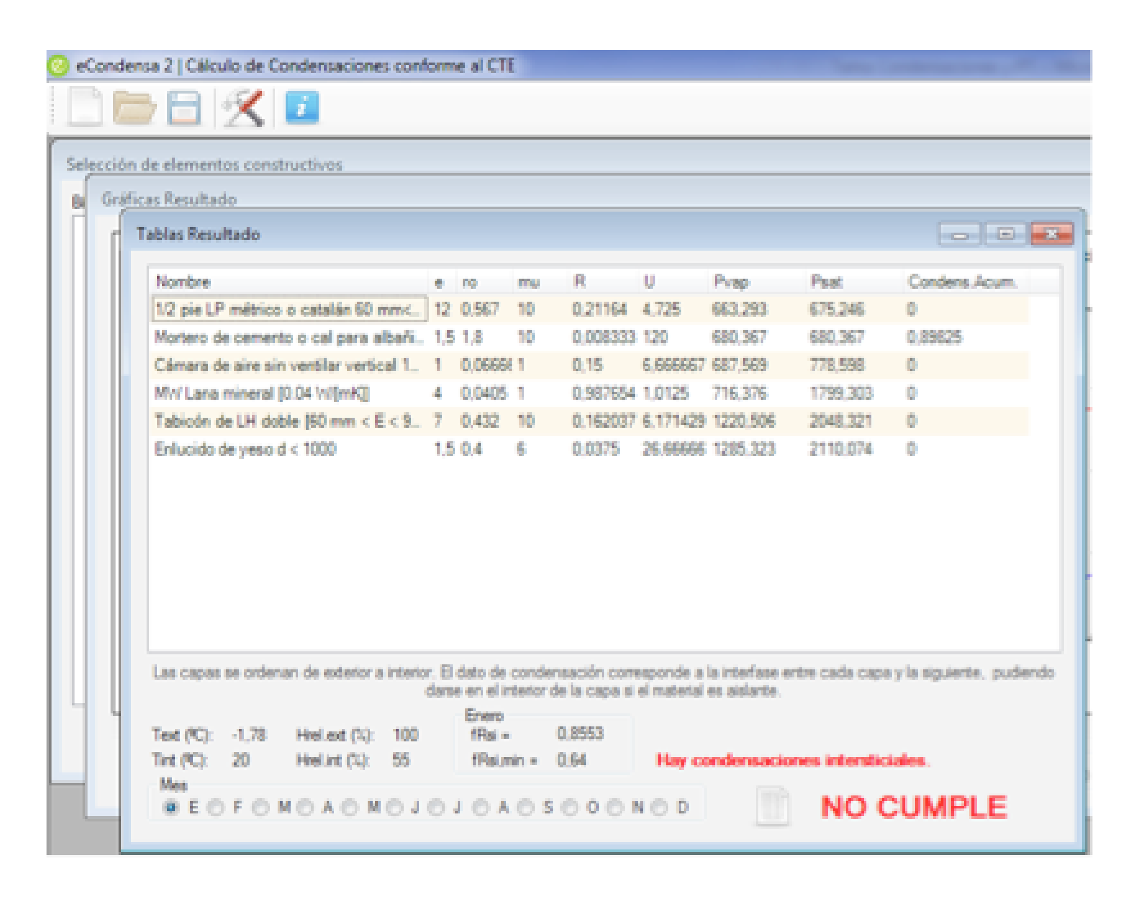
Existen herramientas de cálculo que permiten verificar la existencia o no de condensaciones, de una manera sencilla, introduciendo simplemente las capas que conforman el cerramiento estudiado; como por ejemplo la aplicación informática gratuita *e-condensa*, utilizada para resolver el presente caso de aplicación.

Condiciones de cálculo:

Z.C. E1; temperatura exterior en enero: -1,78 °C; temperatura interior: 20 °C; φ_{ext}: 100 %; φ_{int}: 55 %.

Se determina la temperatura, P_{sat} y P_v de cada capa y se verifica que $P_{sat} > P_v$.

En la figura 14. Cálculo de temperatura, Psat y Pv en la fachada se observa que en la capa del enfoscado de mortero de cemento se producen condensaciones intersticiales, pues $P_{sat} \leq P_v$. Al ser esta capa más externa que el aislante térmico, se concluye que este se va a ver afectado por la condensación, con el consiguiente riesgo de pérdida de prestaciones. Además, la cantidad de agua condensada es superior a la cantidad de agua evaporada posible. La figura 15. Gráfica de presión de vapor y presión de saturación de la fachada muestra el gráfico de presión de vapor y presión de saturación de la fachada, donde se observa que ambas líneas intersecciona.



Nombre	e	ro	mu	R	U	Pvap	Psat	Condens.Acum.
1/2 pie LP métrico o catalán 60 mm<...	12	0,567	10	0,21164	4,725	663,293	675,246	0
Mortero de cemento o cal para albañi...	1,5	1,8	10	0,008333	120	680,367	680,367	0,89825
Cámara de aire sin ventilar vertical 1...	1	0,06666	1	0,15	6,666667	687,569	778,598	0
MW Lana mineral [0.04 W/[mK]]	4	0,0405	1	0,987654	1,0125	716,376	1799,303	0
Tabicón de LH doble [60 mm < E < 9...	7	0,432	10	0,162037	6,171429	1220,506	2048,321	0
Enlucido de yeso d < 1000	1,5	0,4	6	0,0375	26,66666	1285,323	2110,074	0

Figura 14. Cálculo de temperatura, P_{sat} y P_v en la fachada

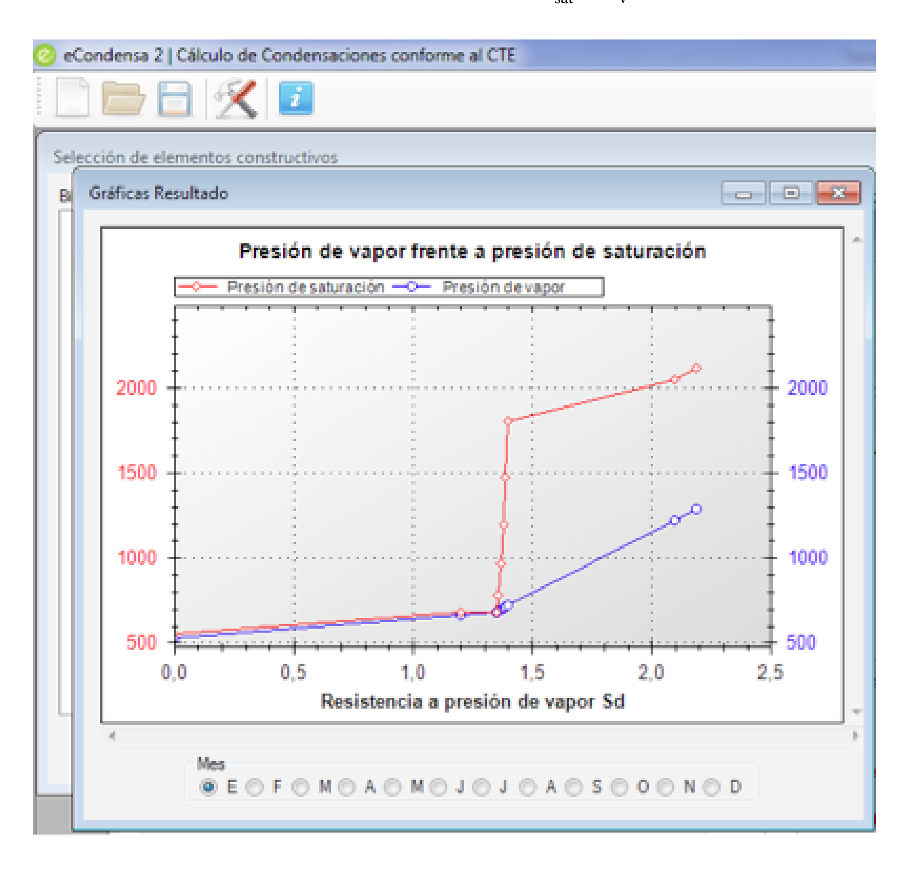
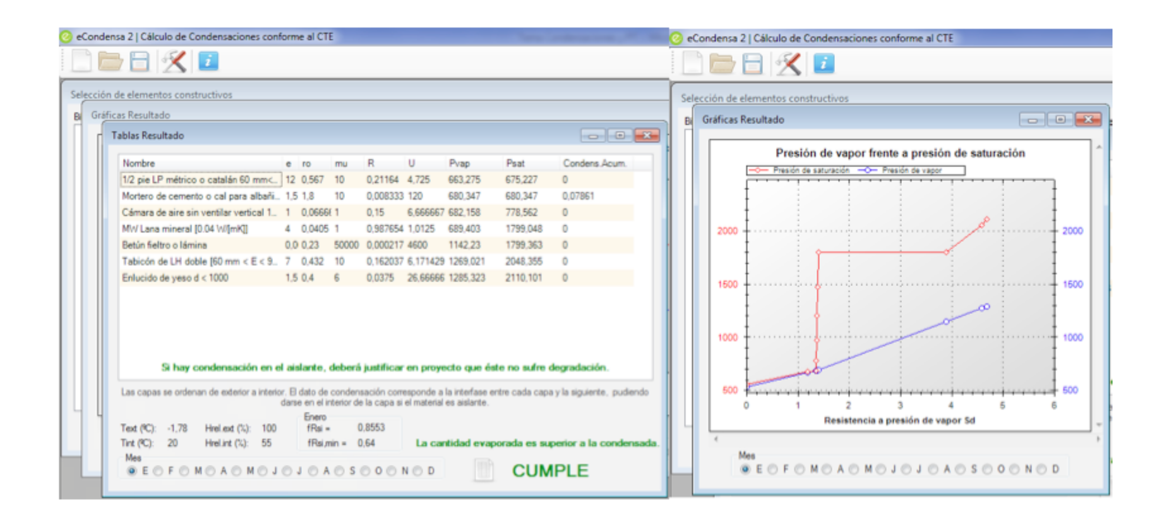


Figura 15. Gráfica de presión de vapor y presión de saturación de la fachada

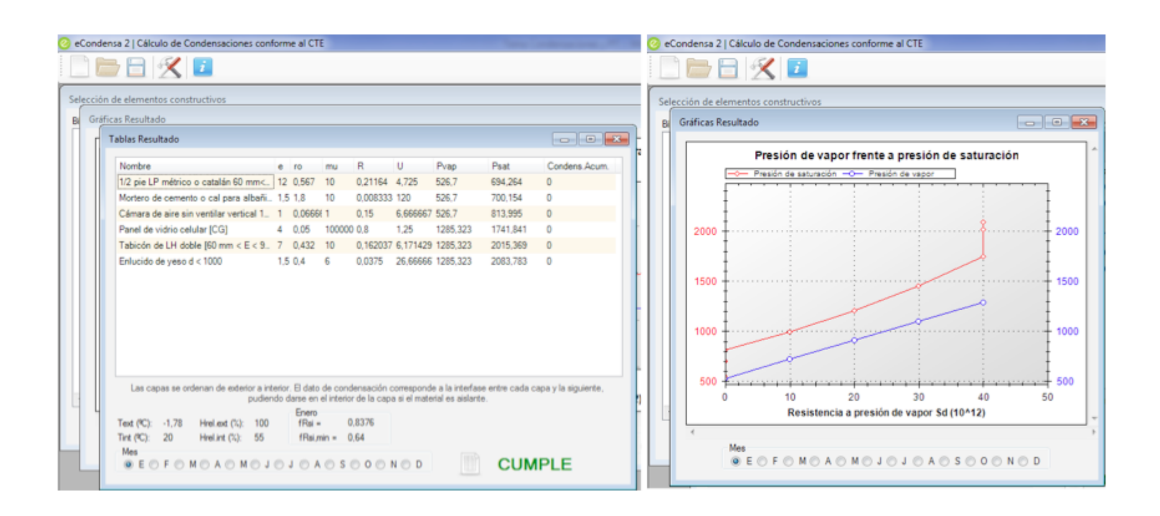
Para resolver las condensaciones intersticiales en el cerramiento de fachada, podemos optar por varias soluciones:

- Disponer una barrera de vapor en el lado «caliente» del cerramiento (antes del aislante térmico):



Con esta solución, conseguimos evitar la condensación en la capa de aislante térmico. Sin embargo, en la capa de mortero de cemento se sigue produciendo una pequeña condensación, no demasiado comprometedora ya que la cantidad de agua evaporada posible en este caso, es superior a la cantidad de agua condensada.

- Sustituir el aislante de lana mineral por uno de vidrio celular (con alto coeficiente μ)



Por medio de esta opción, se consigue evitar completamente el problema de condensación. El vidrio celular, con un coeficiente μ que tiende a infinito, actúa como

material altamente resistente a la difusión del vapor de agua, eliminando el riesgo de condensación en todas las capas del cerramiento de fachada.

6. Ejemplo de aplicación 2: cálculo de puentes térmicos

Se pide calcular la transmitancia térmica global del paño de fachada reflejado en la Figura 16. Geometría y dimensiones del paño de fachada. Las soluciones constructivas de fachada, capialzado, jambas, alféizar y pilar se describen gráficamente en la figura 17, con indicación de las dimensiones de cada uno de sus elementos. La ventana tiene un factor de marco de 32 %. La conductividad térmica de cada material se proporciona en la tabla 5.

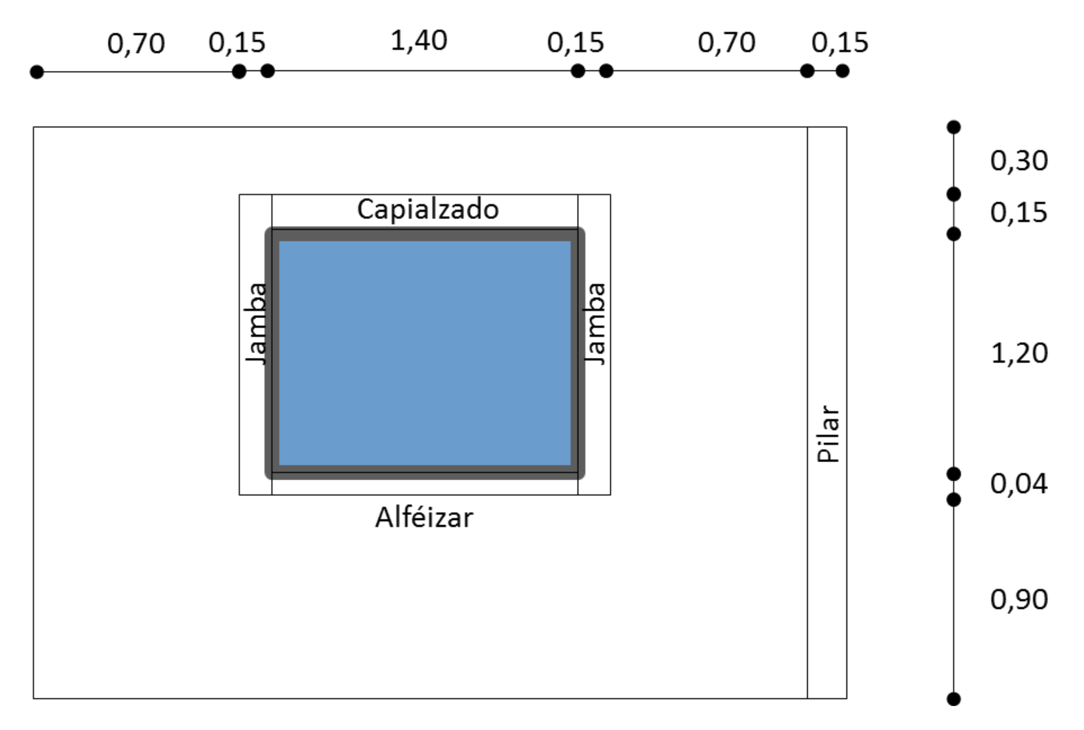


Figura 16. Geometría y dimensiones del paño de fachada

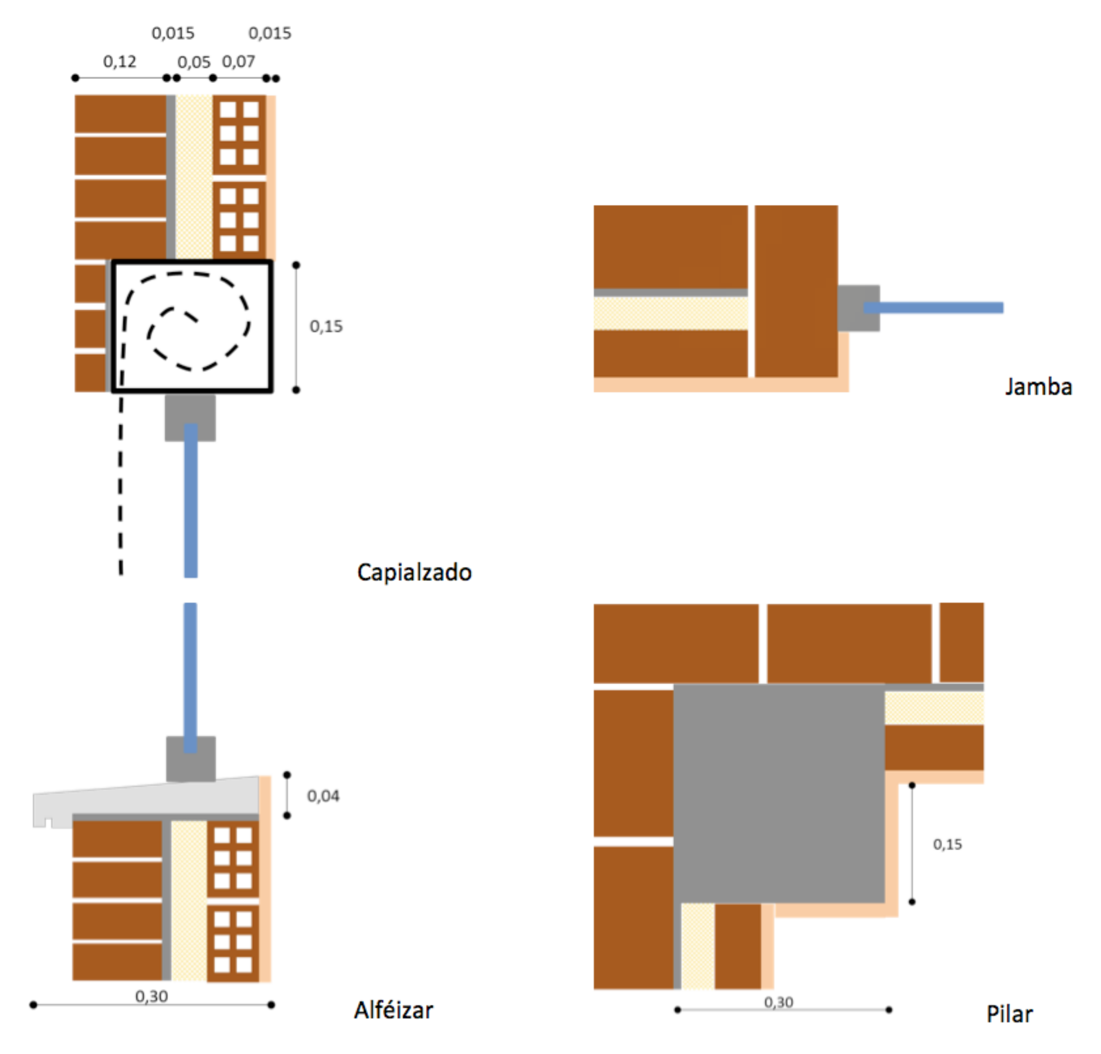


Figura 17. Detalles constructivos del paño de fachada

Tabla 5. Propiedades térmicas de los materiales

Material	*Propiedades*
LP fábrica de ladrillo cerámico perforado de 12 cm	λ= 0,580 W/m²K
LH fábrica de ladrillo hueco doble de 7 cm	λ= 0,470 W/m²K
Mortero de cemento	λ= 1,300 W/m²K
Enlucido de yeso	λ= 0,570 W/m²K
Aislamiento térmico de lana mineral de 5 cm	λ= 0,040 Ω/μ²K
Piedra de vierteaguas	λ= 1,700 W/m²K
Caja de persiana	R_t=0,110 m²K/W

SOLUCIÓN:

1) *Cálculo de áreas [m²] y longitudes [m]*:

	Dimensiones	*A*	*L*
Jambas	2x(1,39x0,15)	0,42 m²	2,78 m
Alféizar	1,40x0,04	0,06 m²	1,40 m
Capialzado	1,40x0,15	0,21 m²	1,40 m
Pilares	2,59x0,15	0,39 m²	2,59 m
Ventana	1,40x1,20	1,68 m²	—
Tramo central	3,25x2,59-(0,42-0,06-0,21-0,39-1,68)	5,66 m²	—

2) *Cálculo de las transmitancias térmicas de elementos opacos (superficiales y lineales) y transparentes.*

ELEMENTOS OPACOS							
ELEMENTOS SUPERFICIALES							**44,27 %**
Tramo central							
	e [m]	λ [W/mK]	Rt [m²K/W]	U [W/m²K]	A [m²]	U*A	%
Rse			0,040				
LP12	0,120	0,580	0,207				
Enfoscado mto.	0,015	1,300	0,012				
AT	0,050	0,040	1,250				
LH7	0,070	0,470	0,149				
Enlucido yeso	0,015	0,570	0,026				
Rsi			0,130				
			1,814	0,551	5,660	3,121	26,08 %
Jambas							
	e [m]	λ [W/mK]	Rt [m²K/W]	U [W/m²K]	A [m²]	U*A	%
Rse			0,040				
LP12	0,240	0,580	0,414				
Enlucido yeso	0,015	0,570	0,026				
Rsi			0,130				
			0,610	1,639	0,420	0,688	5,75 %
Alféizar							
	e [m]	λ [W/mK]	Rt [m²K/W]	U [W/m²K]	A [m²]	U*A	%
Rse			0,040				
Piedra vierteaguas	0,300	1,700	0,176				
Enlucido yeso	0,015	0,570	0,026				

Rsi			0,130					
			0,373	2,683	0,060	0,161	1,34 %	
Capialzado (caja persiana)								
	e [m]	λ [W/mK]	Rt [m²K/W]	U [W/m²K]	A [m²]	U*A	%	
Rse			0,040					
LP12	0,040	0,580	0,069					
Enfoscado mto.	0,015	1,300	0,012					
Caja persiana			0,110					
Rsi			0,130					
			0,361	2,774	0,210	0,583	4,87 %	
Pilares								
	e [m]	λ [W/mK]	Rt [m²K/W]	U [W/m²K]	A [m²]	U*A	%	
Rse			0,040					
LP12	0,120	0,580	0,207					
Hormigón armado	0,300	2,500	0,120					
Enlucido yeso	0,015	0,570	0,026					
Rsi			0,130					
			0,523	1,911	0,390	0,745	6,23 %	
ELEMENTOS LINEALES							**55,73 %**	
Puentes térmicos lineales								
				ψ [W/mK]	Long. [m]	ψ*Long.	%	
Jambas				0,470	2,780	1,307	10,92 %	
Alféizar				0,200	1,400	0,280	2,34 %	
Capialzado				1,410	1,400	1,974	16,50 %	
Pilar				1,200	2,590	3,108	25,97 %	
						6,669		
ELEMENTOS TRANSPARENTES								
Ventana								
				U [W/m²K]	A [m²]	U*A	%	
Marco aluminio sin RPT				5,700				
Vidrio doble 4+6+4				3,300				
				4,068	1,680	6,834		
TOTAL PAÑO FACHADA								
						Trans.	%	
Elementos opacos						11,967	63,65 %	
Elementos transparentes						6,834	36,35 %	
						18,801		

Cálculo de la U global de la ventana:

$U_H = (1\text{-}FM)\cdot U_{Hv} + FM\cdot U_{Hm} = (1\text{-}0{,}32)\cdot 3{,}3 + 0{,}32\cdot 5{,}7 = 4{,}068\ W/m^2K$

3) *Conclusiones*

Realizado el cálculo puede concluirse que los elementos opacos son responsables de la mayor parte de la transmisión térmica del paño de fachada (63,65 %). De este porcentaje, cabe destacar que más de la mitad (55,73 %) corresponde a los puentes térmicos lineales, hecho que demuestra la importancia de realizar un buen diseño que limite en la medida de lo posible las pérdidas térmicas a través de los mismos. Además, el tratamiento inadecuado y la mala disposición del aislamiento térmico en capialzados, jambas, alféizares y pilares, hace aumentar considerablemente el paso de calor a través del paño de fachada, ocasionando unas pérdidas del 18,19 %.

En cuanto a los elementos transparentes, la ventana en este caso es responsable de un 36,35 % de la transmisión térmica. Este elevado porcentaje se debe a la alta proporción de su superficie con respecto a la superficie total del paño, pero también a la baja resistencia térmica. Esto sería fácilmente corregible disponiendo un marco metálico con rotura de puente térmico (RPT), o bien de PVC o madera. La disposición de vidrios bajo emisivos también contribuiría a mejorar la resistencia térmica global del hueco.

Eligiendo unas adecuadas soluciones constructivas para resolver los diversos encuentros, podemos alcanzar mejoras en la transmisión térmica de entorno al 80 %, lo que ayudaría a limitar considerablemente la demanda energética del edificio del que el paño de fachada forme parte.

En este caso, resultaría útil seguir las siguientes recomendaciones:

1. Solucionar los puentes térmicos en el siguiente orden de importancia: pilares, capialzado y jambas, aportando soluciones que den continuidad al aislamiento de los diferentes elementos que concurren en el encuentro y que ofrezcan bajos valores de ψ.

2. Tratar el paño central y sus heterogeneidades: pilar, jambas y capialzado.

3. Actuar en el alféizar, aportando una solución que dé continuidad al aislamiento y la carpintería y que limite la ψ del puente térmico lineal.

4. Prestar atención a otros puentes térmicos que pudieran existir: frentes de forjado, dinteles, etc.

5. Repetir el proceso aumentando el nivel de aislamiento térmico, si fuera necesario.

El realizar un cálculo detallado de la transmitancia térmica del paño de fachada permite identificar los puntos donde resulta más rentable actuar, con criterios de coste-efectividad, lo que puede incluso suponer ventajas económicas al reducir el coste. Todo esfuerzo dedicado durante la fase de diseño del edificio se verá compensado con las mejoras que se obtendrán durante su fase de uso, gracias a la consiguiente reducción de las pérdidas térmicas a través de la envolvente.

7. Bibliografía

Castro Marín, C. (2008) «Aislamiento térmico en edificación». *Fundación Escuela Edificación*. ISBN 978-84-96555-07-5. Madrid

CEN, EN ISO 14683, Thermal bridges in building construction – Linear thermal transmittance – Simplified methods and default values. 2011.

CTE Código Técnico de la Edificación (2013) Ministerio de Fomento

Documento de Apoyo al Documento Básico DB HE Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación (DA DB HE/2). Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos

Documento de Apoyo al Documento Básico DB HE Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación (DA DB HE/3). Puentes térmicos

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2011) Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo energético casi nulo. Consejería de Economía y Hacienda, Madrid.

Llinares, J., Llopis, A., Sancho, J., Gómez, V. (2000) *Térmica en la edificación.* ISBN 84-931209-2-8

Solé Bonet, J. (2003) «Aislamiento térmico en la edificación. El cálculo de la demanda energética como herramienta de diseño». *Manuales profesionales* – IV. Tarragona: Col·legi d'Aparelladores i Arquitectes Tècnics de Tarragona. ISBN 978-84-95624-25-7.

Solé Bonet, J. (2007) «Aislamiento térmico en la edificación. Limitación de la demanda energética DB HE1 e iniciación a la calificación energética». *Manuales profesionales* – VII. Tarragona: Col·legi d'Aparelladores i Arquitectes Tècnics de Tarragona. ISBN 978-84-95624-04-8.

http://www.construmatica.com/

http://www.codigotecnico.org/

http://ecoeficiente.es/econdensa2/

TEMA 4. Selección de sistemas constructivos para rehabilitación energética de edificios

1. Introducción al acondicionamiento de edificios por sistemas naturales

1.1. Introducción a la arquitectura bioclimática

En este apartado se trata el acondicionamiento higrotérmico de edificios por sistemas naturales. Para ello, se verán principios básicos aplicados en la arquitectura bioclimática como referente de la adaptación de la arquitectura a las condiciones del lugar, utilizándolas a su favor. Un edificio está acondicionado por sistemas naturales cuando presenta características formales o soluciones constructivas diseñadas para el aprovechamiento o protección de los factores ambientales del lugar basadas en mecanismos naturales que no implican ningún tipo de consumo de recursos a lo largo de su vida útil. Se denominarían sistemas de acondicionamiento pasivos y podría nombrarse, por ejemplo, huecos de ventana diseñados para favorecer el efecto invernadero en invierno y evitarlo en verano.

Sin embargo, las soluciones de acondicionamiento basadas en sistemas añadidos a la propia edificación, como la energía solar térmica o cualquier aparato que requiera consumo de fuentes de energía no renovable, no se consideran sistemas naturales de acondicionamiento del edificio, sino instalaciones de acondicionamiento del edificio. En este caso, se habla de sistemas de acondicionamiento activos.

El diseño de edificios acondicionados por sistemas naturales, o diseño ambiental bajo el enfoque bioclimático, como fue bautizado por Víctor Olgyay, se basa en la comparación entre las condiciones de comodidad deseadas en el ambiente interior de un edificio y las condiciones ambientales del exterior. Por tanto, el conocimiento y consideración de las características ambientales del lugar en que se ubica el edificio es fundamental para diseñarlo, algo que desafortunadamente en la arquitectura del siglo XX no se ha tenido muy en cuenta.

Un edificio será más eficiente energéticamente, cuanto mejor aproveche los factores favorables climáticos del lugar y mejor se proteja de los factores desfavorables

por medios naturales, de manera que se minimicen los consumos de recursos necesarios para alcanzar el nivel de confort a través de las instalaciones de acondicionamiento.

Tabla 1. Factores climáticos del interior y el exterior a considerar en el diseño bioclimático

Factores del interior	*Factores del exterior*
Visión paisajística	Configuración del entorno
Iluminación natural	Nubosidad
Temperatura radiante media	Soleamiento y radiación solar
Temperatura del aire	Temperatura del aire
Humedad relativa	Humedad y pluviometría
Velocidad del aire	Viento
Calidad del aire	Contaminación atmosférica
Aislamiento acústico	Contaminación acústica

Fuente: Martin Monroy, 2006

Esta asignatura se centra en los aspectos térmicos del confort, es decir, básicamente en los factores del interior. No obstante, sí es conveniente conocer resumidamente los factores externos más relevantes, que se definen en el siguiente apartado.

1.2. Factores ambientales externos

El conocimiento de los parámetros que definen las condiciones climáticas exteriores es fundamental para el correcto diseño de los edificios para la toma de medidas de tipo pasivo. Así, es necesario conocer el clima del lugar de emplazamiento del edificio. Esta información se puede considerar a varios niveles: nivel macroclima, nivel mesoclima y nivel microclima:

- A *nivel macroclima*, se consideran las características climáticas de la provincia o comarca, recogidas normalmente en estaciones meteorológicas: radiación solar, temperatura, pluviometría, humedad relativa y viento.

- A *nivel mesoclima*, se considera la influencia de los accidentes geográficos o masa urbana próximos: temperatura según altitud, presencia de brisas marinas, de montaña o de valle, efecto de bosques o de ciudades en la proximidad.

- A *nivel microclima*, se considera la influencia sobre las condiciones climáticas del entorno más inmediato y de los edificios más próximos: efecto de la altura y la rugosidad del terreno sobre la velocidad del viento, sombras eólicas, obstrucciones solares por elementos próximos, color del terreno y de los edificios, etc.

Las fuentes para obtención de datos climáticos son múltiples. Entre otras, destacan:

A nivel internacional:

- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning)
- ASHRAE climatic design conditions: http://ashrae-meteo.info/
- Software: Meteonorm. Para tratamiento de datos climáticos. Datos mensuales de radiación solar, temperatura del aire, humedad, precipitación, días con precipitación, velocidad y dirección del viento, horas de sol. Con más de 8.000 estaciones de toma de datos, tiene la ventaja de que capaz de interpolar entre estaciones.

A nivel nacional:

- AEMET (Agencia Estatal de Meteorología):
- http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos
- Documento del IDAE: Condiciones climáticas exteriores de proyecto.
- http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/eficienciaenergetica/rite/reconocidos/reconocidos/condicionesclimaticas.pdf

A nivel Autonómico:

- Fundación CEAM (Centros de Estudios Ambientales del Mediterráneo).
- http://www.ceam.es/CEamet/

1.3. Factores ambientales internos. Confort térmico

Para determinar los factores que interesa alcanzar en el interior de una estancia hay que hablar del confort térmico. En realidad, la sensación de comodidad térmica del hombre está relacionada con el calor producido por su metabolismo, ya que, si existe un equilibrio entre el calor generado espontáneamente por una persona y el que disipa al entorno, se producirá una sensación de bienestar. Por el contrario, si la cantidad de calor disipado es excesiva, la persona sentirá una sensación de frío, produciendo el mecanismo de la tiritona, o de calor si el calor disipado es insuficiente, produciendo el mecanismo de la sudoración.

Tabla 2. Temperaturas internas de temperatura del cuerpo humano

Temperaturas internas cuerpo humano		
Límite inferior	Condiciones de confort	Límite superior
28 ºC	36.5-37	41

Denominamos confort térmico a la situación en que existe un equilibrio entre la ganancia de calor (ambiental o metabólico) y la eliminación del mismo, al mismo tiempo que la temperatura de la piel y la cantidad de sudor evaporado están comprendidos entre ciertos límites.

Los parámetros que determinan el balance térmico y los mecanismos de transferencia energética entre el ser humano y el ambiente son los siguientes.

Por un lado, tenemos los *propios de los seres humanos*:

- *Grado de actividad*, que determina el nivel de producción metabólica y las necesidades de intercambio energético con el medio.

- *Nivel de vestimenta,* que determina el nivel de aislamiento térmico proporcionado por los diferentes tipos de ropa, y en consecuencia actúa como barrera térmica entre el ser humano y el exterior. Se mide como Clo (*cloth*), equivaliendo 1 Clo a 0,155 m^2K/W. A modo de ejemplo: 1 camiseta equivale a 0,1 Clo.

Por otro tenemos los parámetros *propios del ambiente*:

- *Temperatura del aire*, que determina las posibilidades de intercambio térmico entre el interior del cuerpo y el exterior.

- *Temperatura media radiante de los cerramientos*, correspondiente a la de los elementos materiales que realizan un intercambio energético con el aire en el hábitat humano influyendo de esta manera, en el que se realiza entre el ambiente exterior y el cuerpo humano.

- *Humedad del aire*, que determina las posibilidades de transferencia energética mediante la evaporación (sudoración).

- *Velocidad del aire*, que determina la eficacia de los mecanismos convectivos de transferencia energética.

En la actualidad el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios), y sus instrucciones técnicas complementarias ITE, incluye las condiciones de bienestar térmico basadas en índices de bienestar más completos que la simple temperatura seca empleada tradicionalmente. El índice seleccionado es la temperatura

operativa, complementada con valores para la velocidad del aire y la humedad relativa. Esto se debe a que el bienestar de las personas no solo depende de la temperatura del aire, sino también de la temperatura de las paredes, techo y suelo. Por ello, se utiliza la *temperatura operativa* como índice de bienestar, que se define a partir de la ecuación siguiente:

$$t_{op} = \frac{t_a + t_r}{2}$$

Donde t_a es la temperatura del aire y t_r, la temperatura radiante de las superficies que envuelven el recinto considerado.

La tabla 3 indica los valores estándares de confort de temperatura operativa y humedad relativa, para actividad sedentaria y ropa ligera en verano o ropa media en invierno según RITE.

Tabla 3. Temperatura operativa y HR según RITE

Estación	*Temperatura operativa ºC*	*Humedad relativa %*
Invierno	21-23 ºC	40-50 %
Verano	23-25 ºC	45-60 %

Para situaciones diferentes de actividad y ropa, se pueden encontrar las condiciones térmicas del ambiente en la norma UNE-EN ISO 7730, aunque las condiciones de actividad y ropa consideradas en la tabla 3 corresponden a la gran parte de edificios: viviendas, oficinas, colegios, etc.

1.4. Principios de diseño bioclimático

Como se ha comentado anteriormente, los principios del diseño bioclimático se basan en el aprovechamiento de las condiciones ambientales exteriores de manera que se optimicen las condiciones de confort térmico del interior. Se trata de sistemas pasivos de acondicionamiento, ya que su uso no implica consumo de recursos. Su aplicación es más sencilla en las fases de diseño del edificio, no obstante, algunas de estas estrategias podrían ser de aplicación en edificios objeto de rehabilitación con el objeto de disminuir su demanda energética. Los principales parámetros que debemos considerar en el diseño bioclimático se van a agrupar en cuatro grandes factores:

1. *Orientación*: lería el primer factor a considerar según las características climáticas y orográficas del entorno y la geometría del edificio.

2. *Soleamiento o protección solar*: la radiación solar puede ser aprovechada como una ventaja o puede constituir un inconveniente, dependiendo de las latitudes en las que se sitúe el edificio y de los elementos de su entorno que puedan interferir en la captación de la energía calorífica del sol.

4. *Materiales y sistemas constructivos empleados*: su elección vendrá condicionada por sus características más o menos aislantes, cámaras de aire, inercia térmica, color, etc.

4. *Ventilación*: las diferencias de presión y temperatura del aire se pueden aprovechar para generar corrientes de aire que faciliten la ventilación para modificar la temperatura de una estancia o para evitar condiciones de humedad excesivas.

Orientación

Teniendo en cuenta, según el hemisferio en el que se encuentre el edificio, y según la latitud, se puede conocer cuáles son las zonas de la envolvente que reciben más o menos radiación solar durante el año, para la búsqueda de la solución constructiva idónea, tanto en cerramientos como en huecos. También dicha orientación debería tener en cuenta los vientos y las brisas predominantes en el lugar de emplazamiento del edificio. En cualquier caso, las condiciones térmicas se pueden mejorar, aunque tal y como se ha comentado anteriormente, es necesario buscar una solución que también tenga en consideración otras características como una adecuada iluminación, características acústicas, etc.

Soleamiento y protección solar

La fuente energética más relevante es el calor del sol, sin embargo, es inconstante debido a múltiples factores:

- Ciclo estacional, ciclo diurno-nocturno
- Filtros solares naturales: días nublados, la niebla, la lluvia, la nieve, etc....
- Otros filtros como la turbiedad atmosférica provocada por la contaminación, habitual en los entornos urbanos.
- Obstáculos a la radiación: elementos propios de la topografía y el medio geofísico, elementos de vegetación circundantes, sombra que provocan otros edificios.

En el diseño del edificio hay que considerar la ganancia energética del sol jugando con factores como:

Orientación, ya que las orientaciones solares en las que se producen la captación solar, son la sur, este y oeste, para el hemisferio norte.

- Los elementos con mayor accesibilidad solar, como pueden ser los elementos horizontales como las cubiertas.

- Sistemas y materiales capaces de captar y acumular calor.

- Formas de distribución del calor captado por las estancias.

La ganancia de energía solar puede realizarse de manera directa a través de ventanas, huecos y lucernarios, e incluso incrementarse con elementos intermedios, tipo invernadero. También se puede aprovechar la inercia térmica de ciertos materiales o elementos constructivos como método de almacenamiento de la energía, para su uso de manera retardada. A continuación, se exponen algunos de estos sistemas y se describen brevemente:

La captación solar directa se logra por medio de elementos transparentes como vidrios de ventanas, puertas y lucernarios. Las propiedades naturales del vidrio dejan pasar la radiación solar visible (la térmica), de longitud de onda comprendida entre 400 y 750/800 nanómetros. Sin embargo, bloquean la radiación de onda larga, es decir, la infrarroja, que es en la que transforma la radiación visible al entrar en el interior y aumentar su temperatura. El principal problema del intercambio térmico que se produce en las carpinterías, viene derivado de las pérdidas que se producen a través de vidrio, debido a su elevada transmitancia térmica. Sin embargo, al valorar este parámetro se considerará no solo el vidrio, sino el conjunto vidrio + marco, tal y como se verá en el tema 4. La transmitancia y la hermeticidad del marco serán parámetros a considerar también en el diseño.

En los vidrios hay que tener en cuenta los factores de transmisión, reflexión y absorción energética, que variarán según el espesor, número de láminas y el tipo de vidrio. Se conoce como factor solar (Fs) a la relación entre la energía total que penetra a través del acristalamiento y la energía solar incidente. Indica la transmitancia total a través del acristalamiento y enviada al interior del edificio y permite evaluar la protección que ofrece el vidrio. Así un vidrio incoloro presenta un Fs alrededor de 0,85, que disminuiría por ejemplo en vidrios coloreados (verde 0,57) o reflectantes (gris 0,20).

En temas posteriores se verán vidrios de distintos tipos (bajo emisivos, de control solar, etc.):

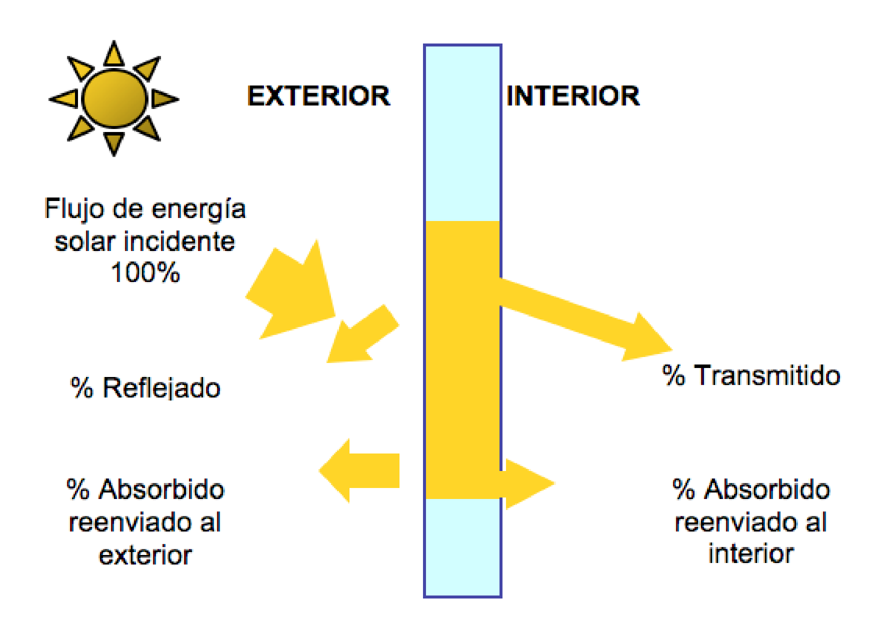


Figura 1. Distribución de la energía solar al pasar a través del vidrio

Además de la captación directa, con los vidrios se puede *potenciar la absorción de energía* solar, gracias al efecto invernadero. Como se ha comentado, los vidrios ordinarios son transparentes a la radiación solar de longitud de onda corta, pero prácticamente opacos a la radiación infrarroja de longitud de onda más larga. La radiación solar es de onda corta, pero la de los cuerpos calentados por la radiación solar es de onda larga, por ser su temperatura relativamente baja. Cuando el sol calienta los objetos del interior de un espacio a través de un cristal, estos objetos calentados ceden de nuevo ese calor en forma de radiación de onda larga, quedando esta radiación atrapada en el interior del espacio al no poder atravesar el vidrio. Es lo que se conoce como efecto invernadero.

Se puede aprovechar en invierno, para calentar los espacios del edificio, disponiendo ventanas en orientación sur en el hemisferio norte, siempre considerando si las características del clima en el lugar pueden generar problemas de sobrecalentamiento en las estaciones cálidas. Se podrían, en este caso, incorporar estrategias para evitar la radiación solar directa, cuando las temperaturas exteriores son superiores a las de confort. Simplemente con la incorporación de mecanismos correctamente dimensionados que impidan el acceso directo del sol en verano (voladizos, paneles móviles, persianas, vegetación), o bien favoreciendo los mecanismos de renovación del aire interior, con una cámara de aire ventilada, para lo que se debe incluir elementos practicables en la superficie de cristal, que puedan crear efectos de ventilación cruzada y ventilación por efecto chimenea.

Se puede además potenciar la captación de energía solar con cosas tan sencillas como los colores de los materiales, lo cual está relacionado con el albedo o grado de reflexión de la luz solar. Por ese motivo, encontramos fachadas e incluso cu-

biertas encaladas en blanco en lugares donde se alcanzan altas temperaturas o, por el contrario, edificios de colores oscuros en climas fríos. A modo orientativo, acabados claros presentan coeficientes de absorción de la radiación solar entre 0,10 y 0,20, mientras que acabados oscuros como el ladrillo o la pizarra pueden alcanzar un coeficiente de absorción de hasta 0,95.




Figuras 2 y 3. Edificios encalados en Menorca y Sidi Bu Said (Túnez)

Inercia térmica

Algunos materiales, como los pétreos, especialmente cuando presentan con espesores gruesos, tienen la capacidad de almacenar la energía durante el día para liberarla durante la noche, cuando la temperatura disminuye. Esta propiedad se puede aprovechar a favor de un diseño sostenible.

Una solución constructiva que aprovecha la inercia térmica de los materiales son los cerramientos vegetales, como cubiertas y fachadas. Los cerramientos de tierra tienen un efecto amortiguador, de manera que, en verano contrarresta el calor, al almacenar fresco de noche, y en invierno, contrarresta el frío, al acumular calor de día. La principal desventaja de estos sistemas es su peso y las labores de mantenimiento que requieren para su adecuado comportamiento, fundamentalmente cuando tienen vegetación. Por otro lado, a su favor, puede considerarse su papel como sumideros de CO_2.

La inercia térmica llevada a su máxima expresión, se daría por ejemplo al aprovechar el terreno en edificaciones enterradas o semienterradas. Un ejemplo lo constituyen las casas cueva, de las que encontramos representación en distintos puntos de la geografía, allí donde las condiciones del terreno hacen posible su construcción. Este sistema presenta muchas ventajas en cuanto a control de temperatura, aunque suele presentar problemas de humedad, lo cual se resuelve generalmente mediante chimeneas de ventilación.

Ventilación

Si bien la captación solar es una estrategia que permite conseguir mayores temperaturas, la ventilación es la estrategia más utilizada para lograr el enfriamiento o también para evitar elevadas humedades relativas. Puede aplicarse a la geometría del edificio, con la colocación estratégica de patios interiores que permitan la ventilación cruzada, también con elementos como chimeneas de ventilación e incluso en los propios sistemas constructivos, caso de las fachadas ventiladas.

Las estrategias señaladas, hasta el momento, pueden también utilizarse en combinación. Un ejemplo son los muros *trombé*, donde se combina la captación solar con acumulación por efecto invernadero, con inercia térmica del muro y con ventilación para control de temperatura.

Es un sistema de captación solar pasivo que potencia la energía solar que recibe un muro, constituyendo un sencillo sistema de calefacción. Su componente principal es un muro orientado hacia la posición del sol más favorable a lo largo del día (sur en el hemisferio norte). La desventaja que presenta es que es un muro ciego en fachada donde se sitúe.

Está constituido por varias capas, por ejemplo:

1. Una lámina de vidrio, a unos 20 cm de la siguiente capa. Con trampillas superiores e inferiores para facilitar la evacuación del calor durante el verano.

2. Un muro interior de gran inercia térmica: pared gruesa (20 y 40 cm) de hormigón, ladrillo, piedra o adobe (materiales que puedan acumular calor bajo el efecto de masa térmica). Película oscura sobre la pared en la cara exterior

3. Un espacio intermedio delimitado por el muro y el vidrio, que debido a la radiación solar siempre tendrá una temperatura mucho mayor que el exterior e interior, a través del efecto invernadero.

4. Dos conjuntos de orificios en el muro, unos en la parte superior y otros en la inferior para ventilación.

5. Voladizo u otros elementos de protección, para evitar sobrecalentamiento.

Gestionado adecuadamente, entrega calor durante los meses fríos y permite una mejor refrigeración en los meses cálidos a través de una ventilación cruzada.

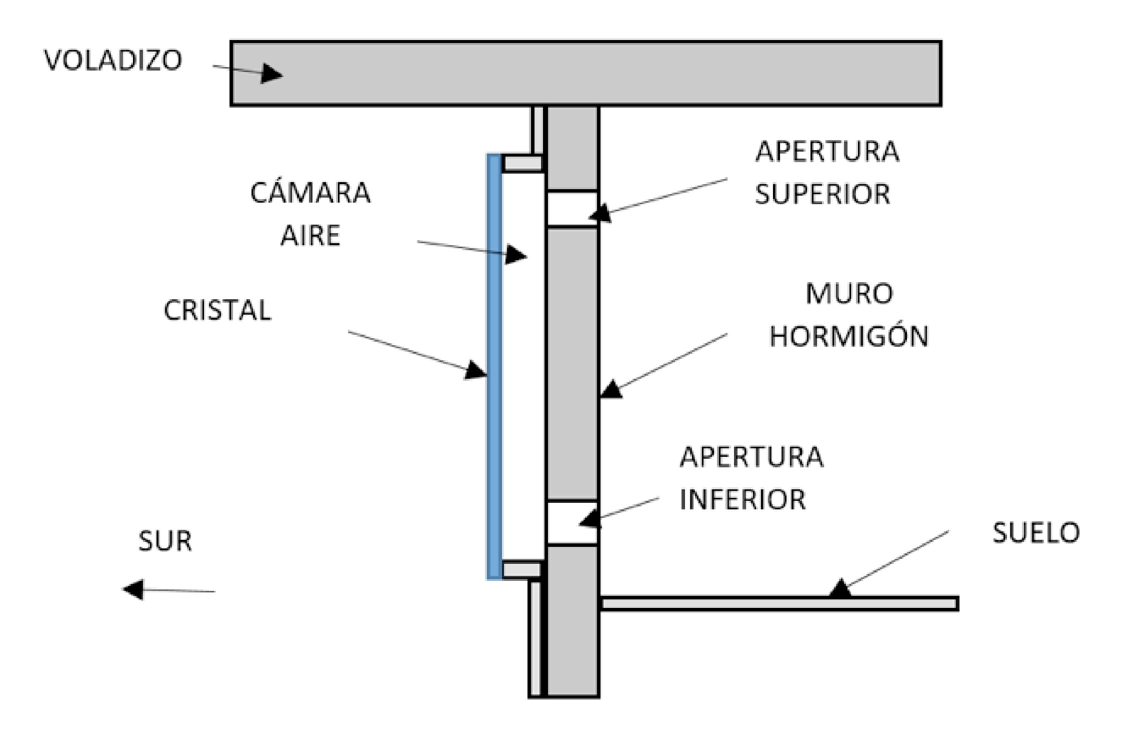


Figura 4. Esquema de muro *trombé*

Para finalizar, indicar que, en el diseño del edificio o de los espacios urbanos, también se pueden proponer sistemas que aprovechan la evapotranspiración como forma de enfriamiento. Se pueden aprovechar láminas de agua, vegetación, etc.

2. Selección de materiales para rehabilitación energética de edificios

2.1. Criterios generales

Las personas pasamos una media del 85-90 % de nuestro tiempo en interiores. De acuerdo al *Scientific Co mmittee on Health and Environmental Risks*, SCHER, 2007, las atmósferas interiores pueden contener más de 900 substancias químicas, partículas y materiales biológicos con efectos potenciales sobre nuestra salud. El J*oint Research Center*, JRC, 2005, admite que la exposición en interiores a substancias químicas tóxicas, provenientes de diversas fuentes, puede ser significativamente superior que la exposición en el exterior, debido a las condiciones de ventilación. Un 20 % de los europeos sufren asma debido a substancias inhaladas en atmósferas interiores e incluso algunas de estas sustancias pueden aumentar el riesgo de cáncer en la población. Todo ello hace que merezca la pena una reflexión acerca de los materiales con los que estamos en contacto en los edificios que albergan nuestras actividades diarias.

En este apartado se tratarán algunos materiales que se han venido empleando, con impacto perjudicial sobre nuestra salud. Estos materiales deben ser evitados y reemplazados y la tendencia debe ser a seleccionar materiales de bajo impacto ambiental o ecológico, reciclados o altamente reciclables, y que se extraigan mediante procesos sencillos y de poco impacto.

Los avances en la tecnología han hecho muchas veces que cambien las formas de obtención de los materiales. Si tradicionalmente se obtenían en el entorno más próximo con un impacto sobre el territorio relativamente bajo, la aparición de medios de extracción y fabricación más eficientes y potentes, así como las posibilidades de transporte, hace que la producción de materiales se convierta en una actividad altamente impactante. En este comportamiento no se está teniendo en cuenta el ciclo de vida de los materiales. Desde esta perspectiva se pueden aplicar algunas recomendaciones para minimizar impactos en la selección de materiales:

- Procedencia de fuentes renovables y abundantes.
- No contaminantes.
- Inocuos para la salud.
- Bajo consumo energético y emisiones en su ciclo de vida, tanto en la extracción como en la producción o en el transporte. Por ejemplo, la producción de 1 T de aluminio emite 10.000 m^3 de CO_2, mientras que la de 1 T de hierro, se emiten 50 m^3 de CO_2. Algunos valores de consumo energético en la producción de materiales de construcción de uso común, se observan en la tabla 4.

Tabla 4. Energía necesaria para producir distintos materiales de construcción

Material	*Energía kWh/m³*
Ladrillo macizo	1.350
Ladrillo hueco	540
Adobe con secado natural	1-10
Hormigón	500
Madera	590

- Bajo impacto en su reciclaje. Si es posible reutilizable
- Durabilidad
- Estandarización
- Bajo coste económico

- Impacto positivo sobre la economía local y por tanto, repercusión social

La selección de materiales es siempre una cuestión que pone en contraposición diferentes criterios, con lo que es necesario un análisis que lleve a la selección de la solución óptima. La elección del material debe tener en consideración muchos puntos de vista, como pueden ser las prestaciones térmicas, acústicas, su carácter más o menos respetuoso con el medio ambiente a lo largo de su ciclo de vida, su coste económico, su polivalencia, durabilidad, el comportamiento frente al fuego, etc. En general, siempre que sea posible se seguirán las siguientes pautas en la selección de materiales:

1. Minimizar el uso de materiales nocivos.

2. Uso de materiales naturales con la menor transformación posible.

3. Uso de materiales locales.

4. Uso de materiales con certificado de calidad.

2.2. Materiales nocivos

Algunos de los materiales que han utilizado en construcción, se ha descubierto posteriormente, que son perjudiciales para la salud.

La tabla 5 resume algunos de los materiales nocivos más frecuentes que se han utilizado en la construcción, indicando cuáles son sus efectos adversos, dónde pueden encontrarse en un edificio y por qué materiales podrían sustituirse, de acuerdo a su función. Aunque en muchos casos están ya prohibidos, caso del amianto, o su aplicación va teniendo más restricciones, se pueden encontrar al llevar a cabo rehabilitaciones de edificios de cierta antigüedad.

Tabla 5. Algunos materiales nocivos

	Efectos adversos	*Localización*	*Sustitutos*
Plomo	Trastornos digestivos, reproductivos o del sistema nervioso	Actualmente su uso no está permitido, pero se pueden encontrar en edificaciones de antiguas (en conducciones, en algunas pinturas o como aditivo al PVC).	En instalaciones, se podría sustituir por cobre (calefacción) o polipropileno (PP) o polietileno (PE). En el caso de pinturas, es recomendable, escoger pinturas naturales (a la cal, al silicato).
PVC	Se fabrica a partir del cloro, gas muy tóxico que al combinarse con sustancias orgánicas forma compuestos organoclorados, muy estables en el medio ambiente y posee aditivos estabilizadores, como el plomo y el cadmio, también tóxicos. Su descomposición puede provocar vertidos contaminantes o gases tóxicos en su combustión (dioxinas). Provocan muchos efectos tóxicos como a los sistemas inmunitario, reproductor, endocrino y nervioso y una gran variedad de cánceres.	Tuberías saneamiento, carpinterías, cables eléctricos, persianas y revestimientos.	En tuberías, PE, PP o cerámica vitrificada. En carpinterías, aluminio (tener en cuenta elevado coste energético en su fabricación) o madera. En conducciones eléctricas, PE o PP. En persianas, madera. En revestimientos, linóleo, corcho, madera, piedra o cerámica.

Poliuretano (PUR)	Se podrían dar en el poliuretano proyectado, que se produce por la reacción química de poliol e isocianato (MDI). El MDI puede causar sensibilización de las vías respiratorias y de la piel. Durante la proyección de PUR, la concentración de MDI en el aire puede superar los valores límite admitidos, por lo que los aplicadores deberán observar las normas de seguridad estrictas en su aplicación, como el uso de máscaras y guantes y las condiciones climatológicas idóneas para su aplicación.	Los PUR termoestables o termoplásticos son espumas, muy utilizadas como aislantes térmicos, mientras que los poliuretanos termoplásticos más habituales son empleados en elastómeros, adhesivos selladores de alto rendimiento, pinturas, fibras textiles, sellantes, embalajes, juntas, etc.	Aislantes ecológicos de origen mineral como vermiculita o arcilla, de origen animal, como lana o de origen vegetal como el corcho. Otras opciones, que requieren transformación son lanas minerales, poliestireno expandido (EPS) y poliestireno extruido (XPS) y los hormigones ligeros aislantes. Como impermeabilizantes se pueden sustituir por caucho, butilo, EPDM, PE o PP.
Amianto	Se ha demostrado que es cancerígeno y, de hecho, está prohibido su uso en la actualidad. No obstante, se empleó en construcción y se puede encontrar en intervenciones en edificios antiguos. Su retirada debe ser inmediata y además debe ser realizada bajo unas estrictas normas de seguridad.	Se puede encontrar en tubos y depósitos de agua y en cubiertas de fibrocemento.	En el primer caso se sustituirá por algún otro material adecuado para conducciones como PE o PP. En el segundo, podrían emplearse cubiertas metálicas tipo sándwich o cualquier otra solución más sostenible adecuada al uso de la construcción rehabilitada.

2.3. Materiales naturales

Los materiales que ofrece la naturaleza de forma natural son muchas veces los idóneos para su aplicación en construcción. La escasa necesidad de transformación, implica un menor consumo energético, máxime si es un material que se puede encontrar en el entorno inmediato. Obviamente su aplicación no es generalizable, pero se pueden destacar materiales como:

Tierra

La tierra es un material de construcción que frecuentemente está disponible en cualquier lugar y en abundancia. Tiene múltiples ventajas desde el punto de vista ambiental al ser un material inocuo, sin sustancias tóxicas, por ser reciclable y por su fácil obtención. También se pueden hacer mezclas con otro material cercano o que mejore las características de la mezcla (cal, yeso, paja...). La construcción con tierra es sencilla y requiere poco gasto energético. Sin embargo, generalmente es una aplicación más artesanal y por ello, no se puede decir que su uso sea generalizable.

Por otro lado, tiene excelentes propiedades térmicas por la inercia térmica que confiere a los cerramientos, lo que la hace idónea en climas áridos con oscilaciones extremas de temperatura entre el día y la noche. También es un buen aislante acústico, ya que los muros de tierra transmiten mal las vibraciones sonoras y posee buen comportamiento frente al fuego. Su durabilidad es prolongada siempre que no contenga materia orgánica en su composición. Es un material transpirable por lo que evita condensaciones. Por último, indicar que se trata de un material generalmente económico, que en muchas ocasiones se encuentra en el entorno próximo.

Madera

La madera es uno de los materiales de construcción más sanos que existen. Estabiliza la humedad y filtra y purifica el aire. Es un material cálido al tacto y absorbe el sonido. Posee elevada resistencia a flexión. En muchos países la mayoría de las estructuras de las viviendas se realizan con este material. En relación a su peso la madera es más fuerte que cualquier otro material de construcción. Los productos derivados de la madera como el corcho, el linóleo, el caucho, el papel y los tableros compuestos (de fibras, contrachapado, alistonado y aglomerado) también conservan muchas de estas características.

La madera, correctamente tratada puede ser muy durable, si bien necesita un tratamiento que evite el peligro de ataques, y es aquí donde puede perder esas características ecológicas, por lo que debería emplearse productos como ceras naturales o aceites ecológicos. Asimismo, hay que considerar la idoneidad de productos como adhesivos y colas, necesarios en muchas aplicaciones de la madera. También hay que considerar algún tratamiento que proteja frente al peligro de incendios.

Obviamente el uso de maderas, si tenemos en cuenta el aspecto ecológico, debe de tener en cuenta que sean maderas autóctonas, como son el pino, roble, haya, etc., y no maderas tropicales, como teca, caoba, wengué, etc., que requieren un elevado gasto energético para su transporte desde su país de origen.

Cal

Hasta el descubrimiento del cemento en 1824 en Portland (Inglaterra), la cal fue el principal ligante empleado en la construcción para morteros, y también en revestimientos y pinturas. Alrededor de un 20 % de la superficie terrestre está cubierta de roca caliza. Es conocido el elevado gasto energético que supone la producción de cemento por lo que debe considerarse las propiedades de la cal como elemento sustitutivo, siendo un «cemento natural» que aporta muchas soluciones a la construcción contemporánea.

2.4. Materiales locales

El uso de materiales locales tiene influencia sobre el ahorro de la energía que sería necesario para el transporte, como se ha comentado en el caso de la madera. Para que los materiales sean considerados como locales, la extracción de materias primas y los procesos de producción, si los hay, han de realizarse a distancias cortas del lugar de emplazamiento de la construcción.

Por otro lado, el uso de materiales del entorno inmediato, tiene beneficios a nivel social puesto que puede suponer un activador de la economía local. Puede potencialmente promover empresas que destinen su actividad a la extracción y transformación de los recursos disponibles en el entorno, suponiendo una fuente de actividad económica para la población.

Por último, cabe citar también la adecuación o la integración al entorno de un material que, de manera natural, forma parte del mismo.

2.5. Materiales con certificado de calidad

Como se ha comentado, no se puede generalizar el uso de productos naturales o locales, no siempre disponibles ni aplicables, por su uso más artesanal, entre otros factores. Ello hace que se utilicen productos comercializados, con cierto grado de transformación. No obstante, los productos comercializados pueden disponer de un distintivo que aporte información de su carácter más respetuoso con el medio ambiente que otros productos de su misma categoría. Sería el objeto de las etiquetas ecológicas, que promueven la demanda de productos con un menor impacto ambiental asociado. Encontramos distintos tipos, las eco-etiquetas no reglamentadas, que son auto-declaraciones ambientales que los fabricantes hacen de sus propios productos, y las eco-etiquetas reglamentadas, otorgadas por un organismo oficial y, por tanto, de mayor credibilidad.

Las etiquetas no reglamentadas o etiquetas tipo II (de acuerdo a la ISO 14021:1999), consisten en afirmaciones relativas a alguna característica ambiental del producto que las contiene y que no han estado certificadas por una tercera parte y, por

tanto, son menos fiables y responden más bien a un argumento de venta. Algunos ejemplos se observan en las siguientes figuras, que corresponden, en el orden de izquierda a derecha, a producto reciclable y contenido de material reciclado del producto, aluminio reciclable, plástico reciclable y gestión de envases:

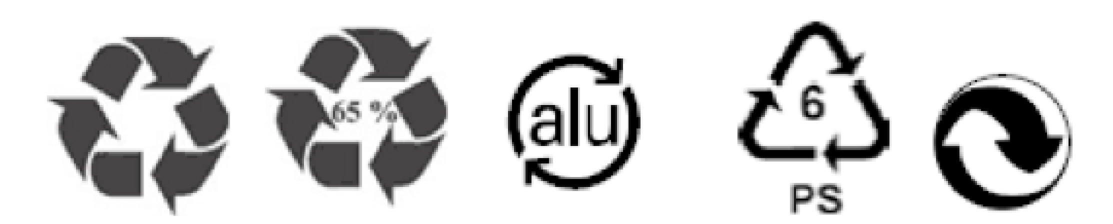


Figura 5. Ejemplos de etiquetas tipo II

Las etiquetas reglamentadas o etiquetas tipo I y tipo III, sí ofrecen garantías puesto que han sido comprobado por un organismo competente que cumplen con unos requisitos previamente establecidos.

Las de tipo I (de acuerdo a la ISO 14024:1999), responden a un programa específico en el que una tercera parte define los requisitos a cumplir para diferentes categorías de productos (pinturas, aislantes, grifería, adhesivos, mobiliario, etc.). Estos requisitos los verifica el organismo que otorga la licencia y la autorización a un fabricante o distribuidor para usar una determinada etiqueta ecológica que garantiza al usuario que, desde el punto de vista ambiental, un producto es preferible a otro de su misma categoría. Algunos ejemplos son:

La etiqueta AENOR (Asociación española de Normalización y Certificación) que pueden aparecer en pinturas, barnices, centro de gestión y revalorización de residuos de demolición y construcción.

Otro ejemplo es la Ecolabel, etiqueta ecológica europea existe una clase de productos correspondiente a las pinturas y barnices de interior, baldosas de interior, etc. O también la etiqueta de la *Forest Stewardship Council* (FSC), que garantiza que la madera procede de explotaciones sostenibles.

Las etiquetas ecológicas de tipo III, tienen como objetivo aportar información cuantitativa de los distintos impactos ambientales que puede ocasionar un producto de construcción a lo largo de su ciclo de vida. Se denominan declaraciones ambientales de producto (DAP) y proporcionan información ambiental cuantitativa para posibilitar la comparación entre productos de su misma clase, es decir, destinados a realizar funciones similares. Es por tanto imprescindible que existan criterios comunes respecto al tipo de información que cada fabricante debe contemplar en sus declaraciones. La regulación de este tipo de documentos está contemplada en la ISO 14025:2006.



Figura 6. Ejemplos de etiquetas tipo I

2.6. Materiales para aislamiento

El material para aislamiento térmico es uno de los que mayor influencia tiene en el comportamiento de un cerramiento, ya que debido a su alta resistencia térmica impide que la transferencia de calor entre interior y exterior. Muchas veces asociamos el concepto de aislamiento a la protección contra el frío, mientras que también es importante en zonas cálidas, para evitar la entrada del calor exterior en el interior del edificio.

Por otro lado, es importante no confundir el concepto de aislamiento térmico con el de inercia térmica. La inercia térmica es la capacidad de un material de almacenar calor y garantizar una mayor estabilidad de la temperatura interior, que dependa en menor medida de la fluctuación de la temperatura exterior. Esta es responsable, pues, de amortiguar la transferencia de calor a través del cerramiento y atenuar el desfase térmico entre la temperatura exterior y la interior, de manera que la temperatura permanece estable durante más tiempo en el interior. Haciendo un símil, podría asociarse a la sensación térmica de frescor cuando entramos en una iglesia en verano.

La posición del aislamiento dentro del muro es determinante para el buen funcionamiento térmico del elemento construido. En climas cálidos siempre es aconsejable colocar el aislamiento en el exterior para conservar la inercia térmica del elemento con más masa del cerramiento.

Además, cuando hablamos de confort, entra en juego el parámetro de sensación térmica, que se relaciona con la temperatura operativa.

En definitiva, al evaluar el comportamiento energético de un cerramiento, habrá que valorar la transmitancia del conjunto de capas que lo conforman, el tipo de materiales que lo integran y el orden en que se colocan. El elemento clave en la rehabilitación energética y que, en principio, aporta mayores descensos en la transmitancia, es el aislamiento, tal y como se ha comentado. Además, de entre todas las capas que conforman el cerramiento, el aislamiento resulta ser la medida con mejor costo-eficiencia, es decir, el resultado obtenido en la mejora de la eficiencia energética frente a la inversión realizada, es el mejor, como se verá en temas posteriores. Por lo tanto, el comportamiento energético del cerramiento dependerá

de los materiales y disposición de las capas que lo conforman. Dada la elevada influencia del material aislante en la reducción de la transmitancia, se describirá, a continuación, algunos de los más importantes, analizando su aplicabilidad y sus prestaciones.

Los tipos de aislamientos térmicos empleados en edificación son muy variados. Por su naturaleza y procedencia, los aislamientos térmicos se pueden clasificar en naturales o artificiales, como se recoge en la tabla 3. La ventaja principal de los aislantes térmicos naturales frente a los artificiales es que aportan regulación higrotérmica en la vivienda y permiten la reducción de la capa de ozono al consumir menos energía en el proceso de su fabricación. En las tablas 4 se resume las características principales de los aislamientos de origen animal, sus propiedades, formato de presentación y ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos. Los valores de propiedades de los materiales indicados en la tabla están extraídos del Prontuario de soluciones constructivas del CTE y de catálogos de fabricantes.

Tabla 6. Características y propiedades de los aislantes de origen animal

Material	Descripción	Formato	Características	Ventajas/Inconvenientes*
Lana de oveja	Fibra mineral obtenida del esquilado (ovejas, llamas, alpacas, vicuñas o cabras)	Mantas Rollos	D: 13,5-25 Kg/m^3 λ: 0,04-0,042 W/mK μ: 1-2	Excelente aislamiento térmico Ligero, no irritante, reciclable Capacidad de regulación higrotérmica Poca energía requerida para su fabricación *Degradación con el tiempo
Plumas de ave	Plumas obtenidas de la capa de protección de las aves	Mantas Rollos	D: muy baja λ: 0,038-0,040 W/mK μ: 1,46-1,72	Excelente aislamiento térmico Ligero, no irritante, reciclable Capacidad de regulación higrotérmica Poca energía requerida para su fabricación *Degradación con el tiempo

D (densidad, kg/m^3); λ (conductividad térmica, W/mK); μ (resistencia a la difusión del vapor de agua, adimensional)

Las tablas 7 y 8 resumen las características principales de los aislamientos de origen vegetal y mineral, respectivamente y, al igual que en el caso anterior, se recogen las principales propiedades, el formato de presentación y las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos.

Tabla 7. Características y propiedades de los aislantes de origen vegetal

Material	Descripción	Formato	Caracter ísticas	Ventajas/Incovenientes *
Cáñamo	Derivado de la planta de cáñamo	Plancha Manta Rollo A granel	D: 30 λ: 0,041 μ: 1-2	Excelente aislamiento térmico Ligero, no irritante, reciclable Capacidad de regulación higrotérmica Poca energía requerida para su fabricación *Degradación con el tiempo
Paneles de fibras de madera	Restos de fibras de madera de la industria forestal aglomerados y prensados	Tableros rígidos	D: 160-270 λ: 0,038-0,048 μ: 5	Excelente aislamiento térmico Biodegradable Resistente a compresión y tracción *Pesado *Mala reacción frente al fuego * Mal comportamiento a la humedad
Algodón	Restos de industrial textil humedecidos y prensados	Mantas	D: 60 λ: 0,029-0,032 μ: 5	Excelente aislamiento térmico Biodegradable Resistente a compresión y flexión *Consumo de productos químicos y agua
Paneles de corcho	Procedente de la corteza del alcornoque, restos aglutinados y prensados	Placas rígidas A granel	D: 120-205 λ: 0,037-0,054 μ: 1,8-30	Único material natural resistente al ambiente húmedo Excelente aislamiento térmico y acústico No irritante, reciclable Resistente a compresión, flexión, dilatación
Celulosa	Obtenido a partir de periódicos reciclados, mezclado con sale bóricas para evitar pudrición	Proyectado Insuflado Mantas	D: 28-65 λ: 0,03—0,040 μ: 1-2	Buen aislamiento térmico y acústico Excelente protección a altas temperaturas en incendios Regulador de humedad Bajo consumo de energía de fabricación A partir de material reciclado
Lino	Procedente del tallo de la planta lino	Placas Rollos	D: 20-30 λ: 0,037 μ: 0,5	Excelente aislamiento térmico Reutilizable y reciclable Capacidad de regulación higrotérmica

Tabla 8. Características y propiedades de los aislantes de origen mineral

Material	Descripción	Formato	Características	Ventajas/Inconvenientes *
Lana mineral	Procedente de roca volcánica natural	Placas Rollos	D: 30-1600 λ: 0,034-0,041 μ: 1	Buen aislamiento térmico y acústico Buen comportamiento frente a fuego-Incombustible *Mal comportamiento frente a la humedad. Existen paneles de lana mineral hidrófugos aptos para exterior
Vermiculita	Mineral formado por silicatos de hierro o magnesio	Proyectada	D: 60-140 λ: 0,062-0,065 μ: 10	Buen aislamiento térmico y acústico Absorbente de la humedad, resistente a altas temperaturas Buen comportamiento frente al fuego. Duradero y estable con el tiempo
Arcilla expandida	Procede de arcillas naturales sometidas a extrusión, cocción y expansión a alta temperatura	A granel Morteros	D: 325-750 λ: 0,148-0,095 μ: 1	Buen aislamiento térmico y acústico Ligereza, resistencia mecánica Material inerte, reciclable, reutilizable Durabilidad, incombustible
Paneles de vidrio celular	Elaborado a partir de polvo de vidrio cocido	Placas	D: 100-150 λ: 0,05 μ: ∞	Buen aislamiento térmico Impermeable, estanco al vapor de agua, imputrescible, no enmohece, ligereza y rigidez, resistencia a compresión Buen comportamiento frente a fuego, durabilidad, incombustible *Deterioro en contacto con álcalis y algunos tipos de yeso
Poliestireno extruido **XPS**	Plástico derivado del petróleo	Placas	D: 25-50 λ: 0,034-0,042 μ: 100-220	Buen aislamiento térmico Buena resistencia a la compresión Protección frente a la humedad. Imputrescible, no enmohece Buen comportamiento frente a fuego, autoextinguible
Poliestireno expandido **EPS**	Plástico derivado del petróleo	Placas	D: 10-50 λ: 0,029-0,046 μ: 20-100	Buen aislamiento térmico Buen aislamiento acústico y absorción de impactos Ligero, imputrescible, no enmohece
Poliuretano PUR	Polímero obtenido por condensación de bases hidroxílicas con isocianatos	Proyectado Placas Paneles sandwich	D: 40-60 λ: 0,032-0,035 μ: 100-150	Buen aislamiento térmico. Buen aislamiento acústico, sellado juntas Impermeable. Durable en el tiempo Versátil. *Baja resistencia al fuego
Polisocianurato PIR	Variante del PUR	Placas	D: 40-60 λ: 0,032-0,035 μ: 100-150	Idem que PUR, pero mejor comportamiento frente a fuego y a altas temperaturas

En la tabla 9 se clasifican los materiales aislantes, recogidos en las tablas anteriores, según su aplicación más frecuente en edificación.

Tabla 9. Clasificación de los materiales de aislamiento térmico utilizados en edificación

Origen	*Material*	*Aplicación*
Natural orgánico (animal)	Lana de oveja	Interior: trasdosado de fachada, falso techo
	Plumas de ave	Interior: trasdosado de fachada, falso techo
Natural orgánico (vegetal)	Cáñamo	Cubierta, fachada, tabiques, forjado y suelo
	Paneles de fibras de madera	Interior/Exterior: cubiertas, suelos
	Algodón	Interior: trasdosado de fachada, falso techo
	Paneles de corcho	Interior/Exterior: fachada, cubierta, suelo
	Celulosa	Interior: fachadas
	Lino	Interior: fachadas
Natural inorgánico (mineral)	Lana mineral o de roca (MW)	Interior: fachadas, falsos techos, tabiques Exterior (si son hidrófugos): fachada ventilada
	Perlita, vermiculita	Interior/Exterior: material protector contra el fuego
	Arcilla expandida	Exterior: aislamiento terreno, solera, cubierta
	Paneles de vidrio celular	Interior/Exterior: fachada, cubierta, zonas húmedas, PT
Artificial inorgánico	Poliestireno extruido XPS	Interior/Exterior: cubierta invertida, fachada (y ventilada), medianera, suelo, techo
	Poliestireno expandido EPS	Interior/Exterior: fachada, cubierta
	Poliuretano PUR	Interior/Exterior: fachada (y ventilada), medianera
	Polisocianurato PIR	Interior/Exterior: fachada (y ventilada)

3. Selección de sistemas constructivos con criterios medioambientales

Como se ha ido viendo en los temas y apartados precedentes, la selección y aplicación de materiales y sistemas constructivos no responden a un único criterio, ni a decisiones tomadas en un solo momento del tiempo. Se trata de un problema

complejo que requiere que los profesionales pongan en juego múltiples variables y tomen las decisiones óptimas. Se debe tratar de conciliar objetivos tales como confort térmico y acústico, disminuir al máximo el consumo energético, obtener bajos costes, etc.

En un primer momento, la fase de diseño es fundamental para conseguir edificios sostenibles. Factores de adaptación al entorno como un adecuado emplazamiento y orientación, influirán altamente al comportamiento del edificio durante su vida útil. Por otro lado, el edificio debe ser analizado desde el punto de vista de su ciclo de vida, así como los materiales que lo conforman, ya que, si bien la fase de uso es la de mayor consumo energético, en el resto de fases, debe también minimizarse el uso de recursos.

Las limitaciones en edificios existentes son mayores, puesto que ciertas variables prefijadas en el diseño no se pueden modificar, como es el caso de la orientación. En este tema se va a analizar básicamente la rehabilitación de edificios desde el punto de vista de incrementar su eficiencia energética, durante su fase de uso.

Hay que tener en cuenta que, en España, los edificios construidos antes de la década de los 80 no tienen ningún tipo de aislante térmico en su envolvente térmica, ya que no existía reglamentación alguna, que tuviera en cuenta el confort térmico de los edificios y los criterios y estándares de calidad de los edificios eran diferentes. La primera norma que consideró este aspecto fue la NBE-CT-79. Esta norma estuvo vigente hasta la entrada en vigor del CTE en 2006 y, además, era muy poco exigente en cuanto a requerimientos mínimos y muy alejada de los estándares de calidad térmica actuales. Por lo tanto, se puede afirmar que la gran mayoría de edificios, construidos antes del CTE, tienen muy mal comportamiento térmico. Esto es especialmente ciertos en aquellos edificios que se construyeron posteriormente a la Guerra Civil, donde la existencia de vivienda era prioritaria a la calidad de la misma, puesto que los recursos económicos eran muy escasos. Posteriormente, se generalizó la solución de doble hoja cerámica, olvidando la ventaja que tenían aquellos muros de carga con una buena inercia térmica, que se habían utilizado en otras épocas. Por lo tanto, se incluye en esta categoría de edificios todos los construidos entre los años 40 y principios de este siglo. Al hablar de rehabilitación energética, un aislamiento adecuado solucionará en gran medida esta falta de confort térmico que se encuentra en un gran porcentaje de edificios del parque edificatorio español.

En los siguientes apartados se analizarán soluciones constructivas relacionadas con la envolvente térmica del edificio. Las instalaciones, también influyentes en la eficiencia energética, se tratarán en temas posteriores. Se describirán algunas de las soluciones constructivas que se pueden implementar en rehabilitación de edificios, a nivel de cerramientos de fachada, tanto la parte opaca o muros, como en la parte transparente o huecos. También el resto de cerramientos que forman parte de la envolvente térmica, como son cubiertas y soleras en contacto con el suelo.

4. Puntos débiles de la envolvente térmica

La envolvente térmica constituye la piel del edificio por lo que su misión principal es la de servir como elemento separador entre el ambiente exterior y el interior del edificio. La calidad de esta va a ser un factor fundamental para alcanzar el nivel de confort térmico óptimo para los usuarios. Es por ello, que la ejecución de obra y su control juega un papel clave en el proceso edificatorio y, resolver adecuadamente los encuentros entre elementos de la envolvente, evitará con seguridad futuras patologías.

No obstante, es inevitable que se produzca la existencia de ciertos encuentros en la envolvente que, por el mero hecho del cambio en el tipo de material o solución constructiva, originan puntos débiles con diferente comportamiento higrotérmico con respecto a la solución predominante. La consecuencia deriva en la existencia de:

- *Pérdidas por conducción a través de huecos*: los huecos son los elementos a través de los cuales el edificio se relaciona con el exterior (visualmente, acústicamente, como captador solar y como elemento de ventilación). La transmitancia térmica de los huecos (vidrios y marcos) es notablemente más alta que la de los elementos opacos, de manera que constituyen un elemento débil con respecto a la solución predominante de la envolvente y merecen especial atención.

- *Infiltraciones de aire*: Las infiltraciones son intercambios térmicos entre el interior y el exterior que se realizan por rendijas y fisuras no deseadas en la envolvente. Cualquier junta mal sellada puede producir pérdidas de calor que reducen la eficiencia térmica de un muro y su estanqueidad. Es recomendable sellar las juntas existentes en la unión entre elementos y, en elementos ventilados (como forjados sanitarios), utilizar elementos de gran tamaño y machihembrados que reduzcan la existencia de juntas abiertas. También conviene tener en cuenta que el uso de ventanas correderas aumenta el paso de infiltraciones de aire con respecto a las ventanas abatibles.

- *Puentes térmico*s: como ya se analizó en el tema 5, son zonas concretas de la envolvente del edificio en las cuales se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento, de los materiales, por diferente resistencia térmica o por un cambio de geometría. Estos deben evitarse siempre, pero con más énfasis en aquellos edificios diseñados para ser altamente eficientes, ya que en ellos sus efectos se multiplican. Por ello, es muy importante respetar la continuidad tanto en el interior de cada fachada como en todos los encuentros con pilares y forjados, ventanas y huecos de persiana esquinas y enganches y, sobre todo, la continuidad aislante y buena construcción en los encuentros entre fachada y suelo, o fachada y cubierta, o distintos tipos de fachada entre sí.

Para aislar térmicamente el edificio existen básicamente dos opciones: aislamiento por interior o por el exterior. El aislamiento desde el exterior es el sistema más efi-

caz, ya que elimina de una sola vez las pérdidas por conducción, las infiltraciones y los puentes térmicos. Ejecutar una nueva envolvente aislante desde el interior tiene muchas más dificultades técnicas y su resultado energético es inferior, ya que es mucho más dificultoso combatir las infiltraciones y los puentes térmicos. Sin embargo, hay muchos casos en los que no hay otra opción, por ejemplo, en edificios con fachada con algún grado de protección o cuando la actuación se da en una sola vivienda de un bloque aunque, por otro lado, las soluciones por el exterior son generalmente económicamente más costosas.

La identificación de puntos débiles en la envolvente térmica de un edificio no es fácil, sin embargo, existen métodos y herramientas que facilitan su detección.

4.1. Métodos de detección: Evaluación de infiltraciones (Test *Blower Door*)

Este sistema de medición permite la detección de infiltraciones y la comprobación del grado de estanqueidad de la envolvente exterior de los edificios. El test *Blower Door* es utilizado en Alemania desde 1989 y su exitosa implementación, hace de él uno de los mejores dispositivos para tal finalidad a nivel mundial. Su empleo es importante por motivos energéticos, estructurales, de confort y de salubridad por los siguientes motivos:

- Coste energético: con la presencia de infiltraciones, el aire caliente fluye hacia el exterior a través de las mismas, aumentando la demanda energética y, en consecuencia, el coste energético.

- Daños estructurales severos: si el aire de infiltración transporta humedad, al enfriarse la cara exterior de la envolvente, este condensa produciendo humedades que pueden causar lesiones.

- Reducción del nivel de confort: las infiltraciones originan corrientes de aire molestas en el interior de las estancias.

- Baja salubridad: el aire puede incorporar partículas de polvo que pueden tener efectos nocivos para la salud de los ocupantes.

Para la ejecución del ensayo existen varias técnicas, la más utilizada es la de presurización según UNE-EN 13829. El método consiste en generar una diferencia de presión constante entre el interior y el exterior del edificio, mediante un aparato de medición normalizado denominado Blower Door. Este consta de un ventilador mecánico con un diafragma de reducción de flujo, medidores de caudal, presión diferencial y temperatura del aire, dispositivos de control y un software de procesamiento de datos. El ventilador está dispuesto en un bastidor puerta, el cual remplaza una de las puertas del recinto al momento de hacer las pruebas. Por lo que respeta al proceso de ejecución, se aconseja realizar el test una vez el aislamiento térmico está dispuesto en obra y es accesible, de manera que, si se detectan infiltraciones, estas pueden ser

eliminadas con relativo poco esfuerzo. Si la realización del test tiene lugar con el edificio en uso, la reparación de las infiltraciones sería mucho más costosa, al tener que desmontar o demoler ciertos elementos de la envolvente.

La figura 7. Esquema de funcionamiento del Test Blower Door (izquierda. Fuente: Guía del estándar Passivhaus). Realización del test en vivienda (derecha. Fuente: Creative Search Commons)7 muestra el mecanismo de funcionamiento del test, en el que un ventilador extrae el aire del interior del edificio y al mismo tiempo, el aire exterior penetra a través de las infiltraciones de la envolvente.

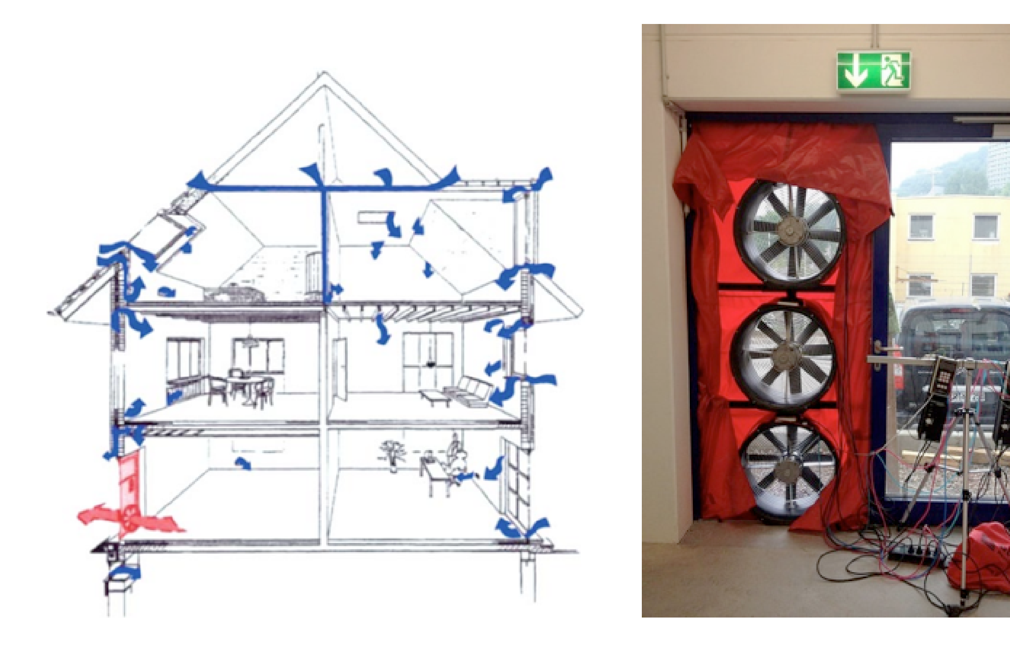


Figura 7. Esquema de funcionamiento del *Test Blower Door* (izquierda. Fuente: Guía del estándar Passivhaus). Realización del test en vivienda (derecha. Fuente: Creative Search Commons)

4.2. Métodos de detección: Termografía infrarroja

La termografía es la técnica que nos permite conocer la temperatura de un objeto mediante el análisis de la radiación infrarroja emitida por el mismo, sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Aplicado al análisis de cerramientos, la termografía permite detectar fácilmente deficiencias en el aislamiento y puentes térmicos.

La figura 8 muestra el análisis termográfico de una fachada de un edificio existente. La termografía permite identificar con facilidad los elementos que se encuentran a menor temperatura, en este caso los frentes de forjado y los pilares en contacto con fachada, desprovistos de aislamiento térmico y que presentan una conductividad diferente con respecto a la solución constructiva de la fachada.

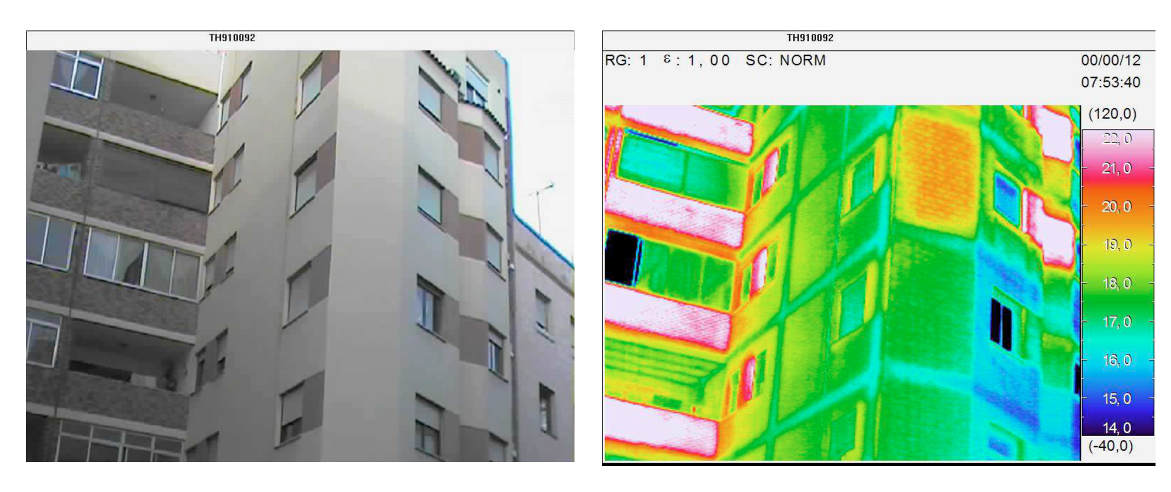


Figura 8. Análisis termográfico de una fachada

5. Soluciones constructivas de rehabilitación en fachadas

La solución idónea para rehabilitar una fachada va a estar condicionada por el cerramiento que tenga en origen. A grandes rasgos se puede hablar de intervención desde el exterior o desde el interior. Se describirán sus ventajas e inconvenientes, siendo labor del técnico decidir cuál recomendaría a su cliente, de acuerdo a los condicionantes físicos, legales y económicos de partida.

Atendiendo a la ubicación del aislamiento, tenemos tres grupos esenciales de aislamiento de fachadas, según su ubicación en la solución constructiva: con aislante térmico por el exterior, y las ejecutadas desde el interior que consisten en, o bien situar el aislante térmico por el intradós, o bien, la inyección de aislante térmico en la cámara que forman la capa más exterior y la más interior de una fachada, cuando se dispone de ella. El tipo de aislante y el espesor de la capa que forma influirán altamente en la transmitancia del cerramiento. El resto de capas que conforman la solución constructiva también influirán, dependiendo de su naturaleza, espesor y forma de colocación. Otro aspecto a considerar será los puentes térmicos que presenta el cerramiento, que afectan negativamente a la transmitancia de la solución constructiva en su conjunto, que se tratarán en el apartado 3.9 de este tema.

5.1. Rehabilitación por el exterior en fachadas

A continuación, se describen algunas soluciones de rehabilitación de fachadas, resueltas por el exterior de la fachada preexistente.

5.1.1. *Fachada ventilada*

Sistema formado por un aislamiento rígido o semirrígido fijado a la fachada existente, y una hoja de protección, separada del aislamiento, formando una cámara por donde circula el aire por simple convección.

En principio, cualquier muro de fachada, en buenas condiciones de conservación, puede ser utilizado como soporte de una fachada ventilada.

La hoja de protección se fija al muro soporte mediante subestructuras diseñadas al efecto, generalmente de aluminio o acero inoxidable. El aislamiento frecuentemente empleado es lana de roca o lana de vidrio semirrígido, suministrado en forma de panel o rollo. Las placas exteriores pueden de materiales cerámicos, piedra, madera, paneles sándwich, de alta resistencia, por lo que son fachadas que presentan un buen aspecto durante mucho tiempo.

Hay diversos sistemas disponibles en el mercado que suministran el conjunto de materiales y componentes necesarios para la puesta en obra, de modo que se asegure la compatibilidad entre todos ellos. Se recomienda acudir a las empresas suministradoras de dichos sistemas para la ejecución de este tipo de instalación. La figura 9 muestra esquemáticamente la disposición de las capas.

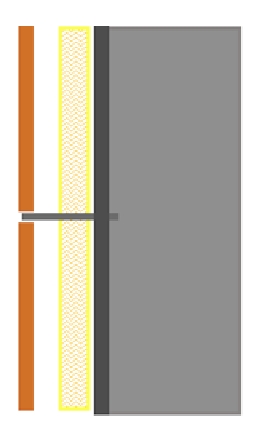


Figura 9. Esquema de fachada ventilada

Ventajas:

- Mínima interferencia para los usuarios del edificio.
- No se reduce la superficie útil del edificio o vivienda.
- Permite cualquier tipo de acabados duraderos y de gran calidad, y ofrece excelentes prestaciones térmicas y acústicas.
- Se corrigen con toda facilidad todos los puentes térmicos en encuentros con la estructura (pilares, vigas, frentes de forjado) y formación de huecos (alféizares, mochetas, dinteles, capialzados). Se evitan las paredes «frías» y la falta de confort asociada a ellas (recordar el concepto de temperatura operativa), se evita el riesgo de formación de condensaciones superficiales y la formación de moho.

M.ª J. Ruá / M. Braulio / Á. Barragán
ISBN: 978-84-16546-24-4

Rehabilitación energética en edificación - UJI -
DOI: http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia124

- Se aprovecha toda la inercia térmica del soporte (capacidad calorífica de los materiales de construcción). La masa del soporte queda protegida por el aislamiento térmico de manera que conserva su inercia térmica. Es especialmente conveniente aislar por exterior cuando la vivienda o edificio está permanentemente ocupado (o la mayor parte del día), para conservar la inercia térmica del soporte y estabilizar durante más tiempo las temperaturas, con el objetivo de conseguir una reducción adicional en los consumos de calefacción y refrigeración.

- Disminución del riesgo de condensaciones: al aislar por el exterior el soporte de la fachada se mantiene «caliente» y mostrará una temperatura superficial superior al punto de rocío del ambiente interior, evitando así el fenómeno de condensación.

- Estéticamente, posibilita un cambio importante de las fachadas, contribuyendo a la mejora del entorno y revalorizando económicamente el edificio.

- Es aplicable a cualquier tipo de fachada.

- La solución es «desmontable» y, por lo tanto, susceptible de rehabilitarse en diversas ocasiones.

- Permite alojar opcionalmente instalaciones entre la cámara y el aislante.

- La cámara de aire ventilada exterior protege al aislante y muro soporte de las inclemencias exteriores (agua, sol, viento, etc.).

- Mejora del aislamiento acústico.

Inconvenientes:

- Normalmente, al ejecutarse la intervención por el exterior, afectará a la totalidad del inmueble, no solo a una vivienda o local en particular. Por consiguiente, se requerirá, previo a la intervención, el acuerdo expreso de la Comunidad de Vecinos.

- Instalación de andamios con el consiguiente encarecimiento de la obra.

- La fachada incrementa su espesor hacia el exterior, llegando hasta 30 cm en el caso de fachadas ventiladas con revestimientos pétreos naturales.

- Es recomendable obtener el asesoramiento de empresas fabricantes e instaladoras especializadas.

- El elevado coste económico del sistema.

- Desde la perspectiva del ACV, si consideramos subestructuras de aluminio, hay que destacar el elevado coste energético que se deriva de este material.

- No se puede aplicar en fachadas protegidas.

5.1.2 *Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (*SATE -ETICS *«External Thermal Insulation Composite Systems»)*

Consiste en la aplicación en la fachada preexistente del edificio, de un revestimiento aislante, protegido por un mortero, fijándose al soporte mecánicamente y/o con adhesivos. Según el tipo de aislamiento puede distinguirse:

a) Con Poliestireno Expandido (EPS) como material aislante

El aislamiento de EPS se protege con un revestimiento constituido por una o varias capas protección, una de ellas una malla como refuerzo. Finalmente, se coloca un revestimiento decorativo coloreado impermeable al agua de lluvia y transpirable que puede presentarse con distintos acabados. Normalmente, se utiliza mortero acrílico que ofrece una altísima capacidad de impermeabilización, pero a su vez permite una alta transpiración del vapor de agua, por lo que se ensucia poco y es muy resistente a las condiciones exteriores. Esta solución se recomienda en fachadas en deterioradas o en mal estado donde haya peligro de desprendimiento, ya que constituye un refuerzo de las mismas.

Es recomendable reforzar el revoco la zona inferior con un zócalo para evitar su deterioro, así como las zonas más débiles como las esquinas. Es necesario asimismo tener cuidado en los puntos de encuentro con huecos, instalaciones, etc., de manera que se asegure la protección del revoco al resto de capas.

Básicamente, de dentro hacia fuera, se compone de las siguientes capas, ilustradas en la figura 10:

1. Fachada preexistente

2. Aislamiento EPS

3. Mortero adhesivo o fijaciones mecánicas

4. Perfiles para replanteo, encuentros con huecos y remates inferior y superior

5. Revestimiento base imprimación

6. Malla de refuerzo

7. Revoco o revestimiento de acabado

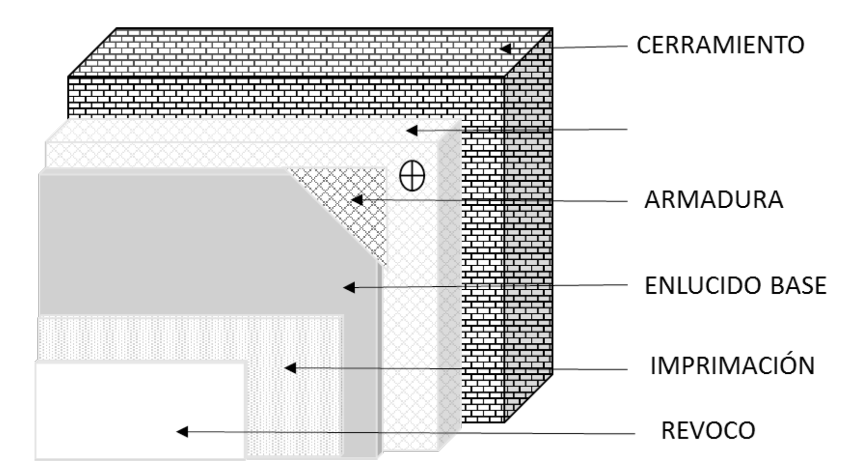


Figura 10. Esquema de fachada tipo SATE

Ventajas

- Se eliminan los puentes térmicos, al adecuarse a la forma geométrica de la fachada.
- Se mejora la estética de la fachada.
- Corrige grietas y fisuras.
- Mínimo mantenimiento.
- Se evitan trabajos en el interior, con pocas molestias para los usuarios.
- No reduce espacio útil.
- Mejora de aislamiento acústico.
- Conservación de la inercia térmica y se evitan condensaciones.
- Coste medio

Inconvenientes

- Normalmente, al ejecutarse la intervención por el exterior, afectará a la totalidad del inmueble, no solo a una vivienda o local en particular. Por consiguiente, se requerirá, previo a la intervención, el acuerdo expreso de la Comunidad de Vecinos.
- Instalación de andamios con el consiguiente encarecimiento de la obra.

- La fachada incrementa su espesor hacia el exterior, llegando hasta 30 cm en el caso de fachadas ventiladas con revestimientos pétreos naturales.
- Es recomendable obtener el asesoramiento de empresas fabricantes e instaladoras especializadas.
- No se puede aplicar en fachadas protegidas.

b) Con poliestireno expandido (XPS) como material aislante

Sobre la fachada preexistente se colocan planchas de XPS, que se revestirán con mortero monocapa. En la figura 11, esquemáticamente se puede ver la disposición de las capas.

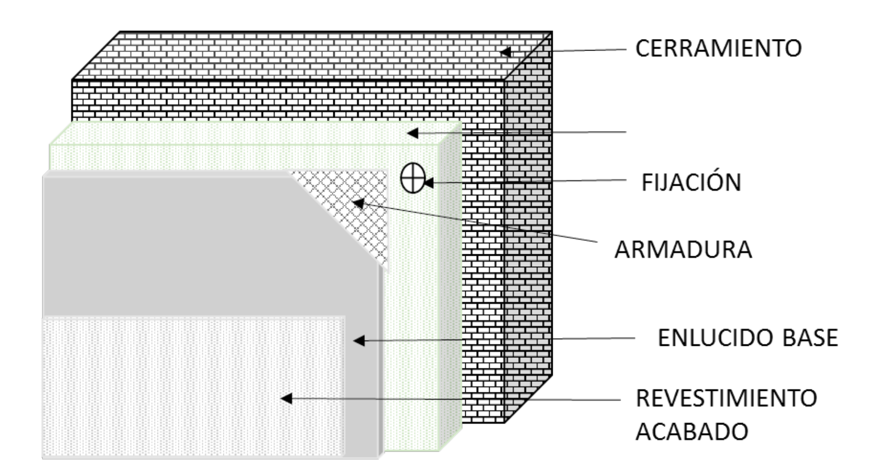


Figura 11. Esquema de fachada tipo SATE con XPS

5.2. Rehabilitación por el interior en fachadas

El sistema de aislamiento por el interior se basa en la colocación del aislamiento térmico en el intradós del cerramiento, generando un nuevo acabado interior con distintas opciones de materiales.

Este sistema deja fuera de la envolvente la masa térmica del cerramiento y permite un rápido calentamiento de las zonas habitables. Por el contrario, los cerramientos no irradiarán el calor almacenado durante el día hacia el interior. Su uso sería entonces más adecuado a edificios de uso diurno, como los usos terciarios, por ejemplo, oficinas, que para la rehabilitación de viviendas. Es un sistema útil en casos de rehabilitaciones interiores, aprovechando la realización de dichos trabajos, o cuando no se desea modificar el aspecto exterior del edificio, caso de edificios históricos. Los materiales comúnmente empleados son poliestireno expandido, lanas minerales, revestimientos a base de placa de yeso laminado, ladrillo, etc.

Ventajas

- Mínimo mantenimiento.
- No se precisan sistemas de andamiaje que invadan la vía pública.
- Único sistema adecuado para edificios con grado de protección para patrimonio histórico.

Inconvenientes

- Coste medio-alto.
- Pérdida de superficie útil.
- No resuelve los puentes térmicos.
- Presenta molestias para los usuarios del edificio en caso de estar ocupado.

5.2.1 *Aislamiento interior con EPS o XPS y con revestimiento adherido de enlucido de yeso o placa de yeso laminado*

La principal ventaja de este sistema es que se optimiza más el espacio y además su menor coste frente a otros. Sin embargo, su aplicación no es generalizable al no ser adecuada en edificios que presentan problemas de humedades, filtraciones y condensaciones superficiales. Es necesario asimismo tener en cuenta los correctos sellados en remates y encuentros y la evitación de puentes térmicos en huecos, pilares, cajas de persianas, etc. El esquema básico se representa en la figura 12.

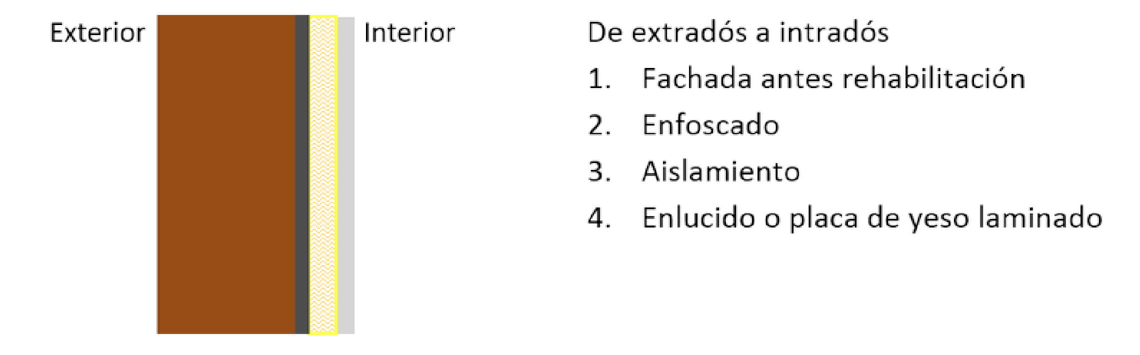


Figura 12. Esquema de aislamiento por el interior

5.2.2. *Trasdosado autoportante con paneles de cartón-yeso*

Consiste en una capa de aislamiento de lana mineral sobre el muro preexistente y un acabado con placas de yeso que van sobre perfiles independientes del muro portante. El esquema básico se representa en la figura 13.

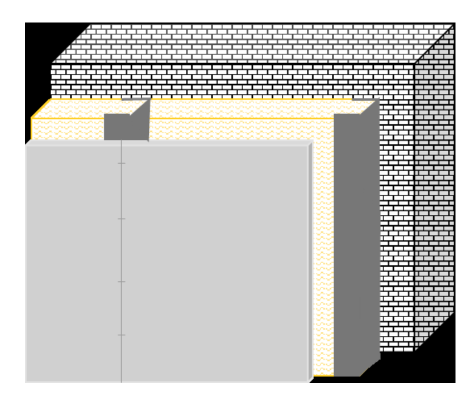


Figura 13. Disposición en sistema autoportante con placas de yeso

Supone también buen aislamiento acústico y elimina casi todos los puentes térmicos. Hay que poner especial cuidado en los puentes térmicos lineales de contorno como en los frentes de forjado, así como en encuentros y remates, como se observa en los detalles constructivos de la figura 14.

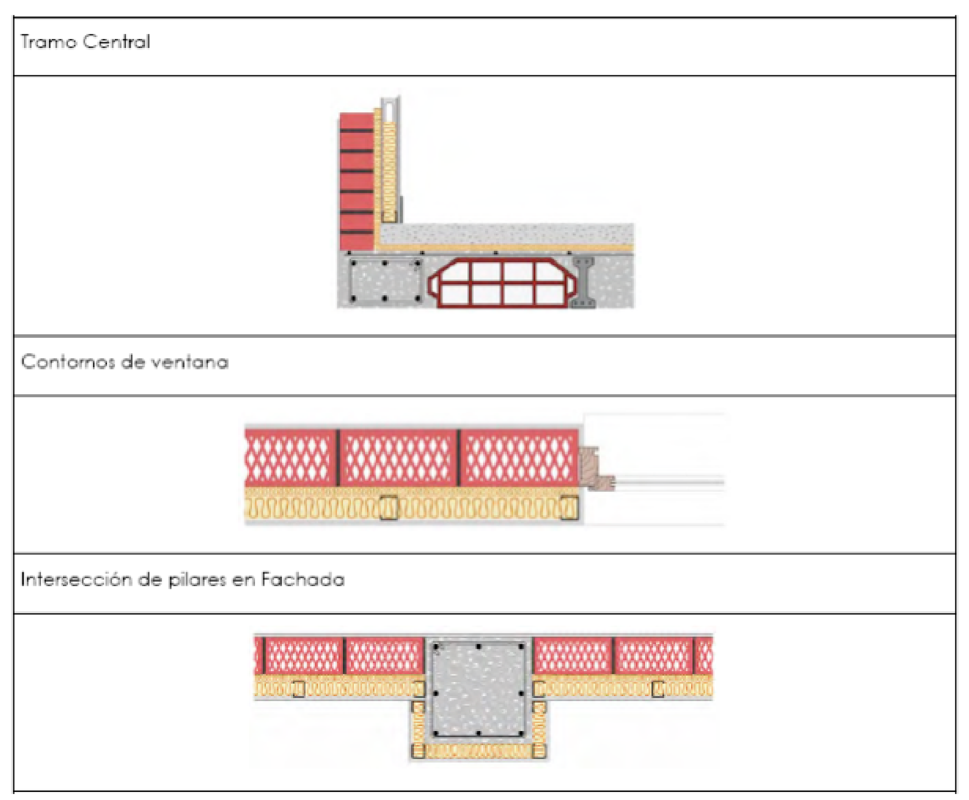


Figura 14. Detalles constructivos (Fuente: FENERCOM. *Guía de rehabilitación energética*)

5.3. Aislamiento en la cámara en cerramientos de doble hoja

Cuando se descarta la intervención por el exterior y no se quiere perder espacio en el interior, se valorará la inyección de aislamiento en la cámara siempre que esta exista y sea accesible y cumpla con una serie de requisitos que hagan la intervención segura. El producto más utilizado es el PUR, aunque también existe la posibilidad de emplear lana mineral. Previamente a la inyección deberá revisarse las paredes por si existen grietas, defectos en las juntas o humedades. También es importante comprobar la continuidad de la cámara y la existencia de cableados interiores. El procedimiento consiste en realizar unos taladros por el intradós, aproximadamente separados como máximo 50 cm entre sí, evitando que estén en la misma vertical, por los que se inyectará el material, llenando la cámara de abajo arriba, lentamente, ya que el material debe saturar el volumen de la cámara sin crear tensiones excesivas.

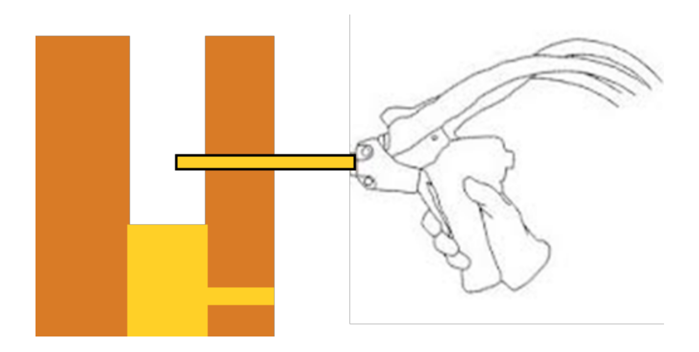


Figura 15. Esquema de aplicación

Ventajas

- Aporta rigidez a la fachada.
- Mínimo mantenimiento.
- Es un proceso relativamente rápido y que genera pocas molestias para los usuarios.
- No reduce espacio útil.
- Ayuda a la conservación de la inercia térmica.
- Es un sistema económico.
- Contribuye al aislamiento acústico.

Inconvenientes

- No se puede garantizar la cobertura total del producto, al no ser visible la aplicación.
- No garantiza la total eliminación de puentes térmicos.
- No protege contra las agresiones externas.
- No modifica el aspecto estético de la fachada.
- El PUR por si solo tiene una pésima resistencia al fuego, en su modo más favorable es un material combustible C s3-d0, llegando incluso a la clase E.

5.4. Soluciones constructivas de rehabilitación en medianeras

En ocasiones, bien por derribo de un edificio adyacente o por no existir ninguno, aparecen fachadas medianeras que presentan importantes deficiencias en el acabado de las medianeras como oquedades, falta de sellados e impermeabilidad y ausencia de aislamiento térmico. Por lo tanto, en estas fachadas, se hace necesaria la incorporación de aislamiento. Una de las técnicas más empleadas, es la espuma de poliuretano (PUR) proyectado, con lo que, además, se aporta sellado y consistencia. Debe tener un espesor mínimo de 3 cm y una densidad mínima de 35 kg/m^3. Se protegerá con una capa de elastómero de poliuretano para evitar el deterioro por los rayos UV y que además aporta mayor consistencia e impermeabilidad. Se coloca una capa de 1,5-3 mm de espesor, de una densidad 1000 kg/m^3, con coloración (ver figura 16).



Figura 16. Imagen de medianera aislada con PUR

Otra posible solución es la protección mediante enfoscado y puede ser recomendable un tabique de ladrillo al menos los tres primeros metros desde su base. En ocasiones se puede acabar con lo que se denomina tabique pluvial, sistema constructivo que tiene como objetivo la impermeabilización y el aislamiento de las paredes medianeras laterales exteriores de los edificios. Está compuesto por placas de fibrocemento o planchas prelacadas, fijadas al muro soporte directamente o, también a través de una estructura portante formada por perfiles omega, con la que se crea además una cámara ventilada, que contribuye a reducir los efectos negativos de los agentes externos y de la humedad, y que ventila evitando el sobrecalentamiento en verano y las condensaciones.

5.5. Soluciones constructivas de rehabilitación en huecos

Los elementos transparentes de los cerramientos corresponden a ventanas, puertas y lucernarios. El elemento se compone de marco y de vidrio y su transmitancia se valora en conjunto, teniendo en cuenta el porcentaje de cada material en la carpintería considerada y el tipo utilizado en uno u otro caso. A continuación, se enumeran los materiales más frecuentes. En el tercer punto de este apartado se detallará la forma de cálculo de la transmitancia del hueco teniendo en consideración la carpintería en su conjunto.

5.5.1. *Vidrios*

Podemos encontrar varios tipos de vidrios. Su aplicación en el edificio dependerá de las propiedades que interesen, por ejemplo, potenciar o evitar el efecto de la radiación solar. Los más frecuentes son:

Vidrios monolíticos

Son vidrios sencillos que aparecen en edificaciones de cierta antigüedad o con escasa calidad y, a nivel de aislamiento térmico, son acristalamientos obsoletos, por lo que no se recomienda su instalación en las carpinterías exteriores

Vidrios laminados

Resultado de la unión de dos o más planchas de vidrio. Entre ellas se intercalan láminas de PVB (polivinilo butiral), logrando así un vidrio de mayor resistencia. Se emplean en vidrios de seguridad o blindados y se utilizan siempre junto con herrajes de seguridad.

Vidrios con cámara o doble (triple) acristalamiento

Son vidrios formados por dos hojas separadas por una cámara intermedia de aire deshidratado sellada herméticamente, muy adecuado para aumentar el aislamiento térmico. En climas más severos se pueden instalar vidrios triples o vidrios con triple acristalamiento, en los que se generan dos cámaras de aire.

Vidrios templados

Es un tipo de vidrio muy fuerte y resistente, diseñado para que, ante un impacto, se rompa en fragmentos muy pequeños e irregulares. Es para puertas de terrazas, patios, etc.

Vidrios bajo emisivos

Son cristales con la capacidad de reducir el calor que se escapa del interior de la vivienda al exterior, a través del cristal, sin que la luz que entra por la ventana se vea afectada. Las propiedades de este tipo de vidrios se consiguen colocando una lámina pulverizada en una de las caras del cristal, generalmente de plata. Esta lámina puede ser de varios tipos, diferenciándose en la cantidad de calor que dejan escapar al exterior.

El vidrio bajo emisivo mantiene en invierno el calor de la calefacción dentro de la vivienda, y de la misma manera, en verano se mantiene el frío del aire acondicionado dentro de las habitaciones. El problema se produce en ventanas orientadas al sur en verano, ya que se potencia el efecto invernadero.

Vidrios de control solar

Los vidrios de control solar, al contrario que los vidrios bajo emisivos, evitan que la radiación entre en la vivienda, filtrando los rayos solares según su longitud de onda. Para ello se recubren en una de las caras con un material parcialmente reflectante. Hay láminas metálicas muy finas que pueden reflejar muy bien ciertas longitudes de onda. La radiación calorífica se refleja, mientras que la luz natural penetra sin apenas obstrucción. Se puede distinguir dos tipos de vidrios para controlar la radiación solar:

- Vidrio absorbente, cristal coloreado de óxidos metálicos (azul, gris, verde, etc.) que absorbe parte de la energía del sol antes de emitirla hacia el interior o hacia el exterior. Para que sea más eficaz, hay que instalarlo lo más cerca posible del exterior de la fachada y dependiendo del color y del espesor del vidrio, la eficacia varía.

- Vidrio con capa, cristal fabricado con unas capas que reflejan parte de la energía solar incidente. Las capas pueden ser pirolíticas o aplicadas al vacío.

5.5.2. *Carpinterías*

En edificios antiguos encontraremos frecuentemente carpinterías metálicas con vidrios monolíticos, y con muy baja estanqueidad. A efectos de acondicionamiento térmico son más adecuadas carpinterías de madera, aluminio o PVC. El primer caso sería más aconsejable si tenemos en cuenta la selección de materiales naturales, como la madera, como prioridad. Sin embargo, es un material que requiere mayor mantenimiento. Una comparativa de estos tres materiales se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 10. Materiales en carpinterías exteriores

Material	*Ventajas*	*Inconvenientes*
Madera	Material natural y ecológico Bajo consumo energético en su fabricación Reciclable y biodegradable Variedad de maderas y durezas, colores, veteados y acabados. Atractivo y cálido Buen aislante térmico Aislante acústico y eléctrico	Requieren de mantenimiento periódico Más sensible que otros materiales a cambios bruscos de temperaturas Se degradan por la acción continua de los rayos uva y ultravioleta Según la especie pueden atacarla hongos, mohos e insectos Se pueden deformar con humedad o lluvia constantes
Aluminio	Versatilidad del diseño y variedad de acabados Nulo mantenimiento Hermeticidad y estanqueidad Posible uso de perfiles con rotura de puente térmico (aunque encarece mucho)	Alto consumo energético en fabricación Material reciclable No es tóxico en caso de incendio Conductor del calor (requieren RPT) Producen condensación Peor aislante que el PVC
PVC	Resistente a meteorología Buen aislante térmico y acústico Propiedades antifungicidas Bajo mantenimiento y reciclable	Alto coste Material no ecológico

5.5.3. *Transmitancia del hueco*

La transmitancia térmica del marco depende del material, sea los perfiles de aluminio (con o sin rotura del puente térmico), madera o PVC, y de la geometría de los mismos (cuanta menor superficie esté en contacto con el aire exterior, menos transmitancia térmica). Por su parte, la transmitancia térmica de los acristalamientos depende de su composición: espesor y número de cámaras de aire, uso de argón u otros gases en substitución del aire, capas en los vidrios (como es el caso de los bajos emisivos), etc. Al final se pretende obtener un valor UH que sea lo más bajo posible para reducir así las pérdidas térmicas al exterior y evitar los riesgos de condensación superficial.

A modo ilustrativo, se muestra en la siguiente tabla valores de transmitancia de diferentes vidrios:

Tabla 11. Transmitancia de diferentes vidrios

Tipo de acristalamiento	*UHv (W/m²K)*
Monolítico de 6 mm	5,7
6 mm + cámara aire + 6 mm	2,7
6 mm + cámara argón + 6 mm. Bajo emisivo	1,1

El cálculo de la transmitancia térmica total de la ventana (UH), contemplando la transmitancia del vidrio (UH_V), la de la carpintería (UH_M) y la fracción de marco sobre la superficie total de la ventana (FM), se calcula de acuerdo a la expresión, que se analizó con mayor detenimiento en el tema 4:

$$U_H = (1 - F_M) \cdot U_{H,v} + F_M \cdot U_{H,m}$$

5.6. Soluciones constructivas de rehabilitación en cubiertas

El tipo de cubierta, su estado de conservación y su capacidad resistente, condiciona la intervención que se puede hacer sobre la misma.

En zonas de veranos cálidos, como es la zona Mediterránea, la creación de una cámara de aire entre el exterior y el interior del edificio puede ser una solución adecuada. Donde la pluviosidad requiera de una cubierta inclinada, el tablero de cubierta sobre tabiques palomeros (o cualquier otro recurso constructivo) dejando una cámara de aire ventilada, es una solución muy eficaz. En cubiertas planas, la azotea denominada a la catalana, el sistema posee una cámara de aire ventilada entre el forjado que sirve de techo al habitáculo inferior y la superficie exterior.

Desde un punto de vista energético, al analizar los diferentes tipos de cubiertas, se encuentran los mejores comportamientos en el caso de cubiertas verdes. Una cubierta verde es una cubierta convencional con la adición de un substrato y de plantas. Suelen ser normalmente planas, aunque también es posible encontrarlas en cubiertas inclinadas.

Analizando otros tipos de cubiertas planas, podría decirse que las invertidas presentan, en general, un mejor comportamiento térmico que las tradicionales.

La cubierta ajardinada comparte las ventajas de la cubierta invertida, ya que el sustrato y la vegetación actúan como aislamiento térmico y como protección de la capa impermeabilizante. La vegetación ofrece una gran protección contra la radiación solar al no permitir que se caliente la cubierta. Al proteger la cubierta, que es el elemento por donde más calor se pierde, se minimizan los flujos energéticos entre ambiente exterior e interior. También disminuye los consumos por refrigeración. Se incrementa el aislamiento térmico, ya que tanto la vegetación como el sustrato retienen aire en su interior, lo que les proporciona propiedades aislantes.

Como en la cubierta invertida, la cubierta ajardinada protege la lámina impermeabilizante de los rayos UV, de los cambios bruscos de temperatura y de los esfuerzos mecánicos. Además de estas ventajas, contribuye a mejorar el clima de la ciudad y de la región, aportando humedad y comportándose como sumidero de CO_2. Sin embargo, existen varios condicionantes para su aplicación

La intervención de rehabilitación en cubiertas se puede clasificar en dos grandes grupos, según la aplicación del material aislante, bien por el exterior o bien por el interior.

5.6.1. *Rehabilitación por el exterior en cubiertas*

Ventajas

- Mínima interferencia para los usuarios del edificio.
- No se reduce la altura libre de las estancias del último piso.
- Al aislar por el exterior, el soporte estructural (forjado) que forma la azotea se encuentra relativamente caliente, pues está protegido por el aislamiento y, por tanto, se evitan fenómenos de condensación.
- Normalmente, al ejecutarse la intervención por el exterior, afectará a la totalidad del inmueble, no solo a una vivienda o local en particular. Esto puede considerarse inconveniente si se tiene en cuenta que requerirá, previo a la intervención, el acuerdo expreso de la Comunidad de Vecinos.

El tipo de aislante va a ser determinante en la solución constructiva.

a) Con XPS, material resistente a la humedad, si bien llevará una capa de acabado como puede ser grava o baldosas cerámicas (existen en el mercado baldosas con base de XPS incorporada de fábrica). Esta solución también se puede llevar a cabo en faldones de cubierta inclinada, en cuyo caso se dispondrían bajo el acabado como las tejas.

b) Con EPS hidrófobo para implementar en una cubierta invertida. Se podría aprovechar la ocasión en que, por ejemplo, se tuviera que restituir la capa de impermeabilización con el fin de evitar goteras y problemas de humedades. Este EPS-h debe cumplir una serie de especificaciones en este uso, ya que a pesar de que llevará alguna capa protectora, como puede ser de grava, va a ser un elemento en contacto con el exterior al llevar la impermeabilización por debajo. Por otra parte, la cubierta debe tener la capacidad portante suficiente para soportar este tipo de solución. Al igual que en el caso anterior, esta solución también se puede llevar a cabo en faldones de cubierta inclinada.

c) Con PUR proyectado y proyección encima de un elastómero que proteja al aislante de los rayos ultravioleta. En este caso hay que detectar las zonas dañadas y cuidar la ejecución en los encuentros con elementos singulares como puede ser el peto de la cubierta.

5.6.2. *Rehabilitación por el interior en cubiertas*

Es adecuado en los casos en los que no haya que realizar trabajos de impermeabilización o reparación, en cubiertas en buen estado. También es especialmente conveniente cuando el edificio no es de ocupación permanente. Al aislar por el interior, se consigue calentar la vivienda con la mayor rapidez, ya que el sistema de climatización acondicionará solo el volumen de aire de la casa, los muebles y los acabados interiores. Con el aislamiento por el exterior, el edificio tardará bastante más en alcanzar la temperatura deseada, ya que la climatización afectará a una masa mucho mayor.

En edificios con un grado de protección como parte del patrimonio histórico-artístico, intervenir por el interior será la única opción, ya que no se podrá hacer por el exterior, puesto que supondría alteración de las fachadas.

Ventajas:

- Al aplicarse por el interior, se evita el levantamiento de la cubrición exterior (tejas o pavimento), impermeabilización, etc. Ello conlleva también un menor coste económico.

- Posibilita la rehabilitación del interior del edificio desde el punto de vista estético, conformando una superficie plana y lisa que permite un acabado de pintura y la instalación de nuevos sistemas de iluminación y o climatización.

- En el caso de utilizar placas de yeso laminado, el montaje es rápido y por vía seca, permitiendo la habitabilidad durante la ejecución de los trabajos.

- Al ejecutarse la intervención por el interior, puede realizarse en solo una parte del inmueble, por ejemplo, a una sola vivienda del edificio.

El aislamiento puede ser bien:

a) Con placas de yeso suspendidas del forjado con una subestructura metálica, colocando lana mineral en la cámara de aire intermedia. Es necesario disponer de altura mínima para ello, al menos 10 cm son necesarios para este sistema.

b) Con plancha de XPS para revestir con placa de yeso laminado o yeso *in situ.*

ISBN: 978-84-16546-24-4
DOI: http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia124

5.7. Soluciones constructivas en elementos horizontales

Las pérdidas energéticas que se registran en un edificio a través de elementos horizontales, pueden encontrarse en suelos estén en contacto con el terreno (solera), sobre cámara ventilada no accesible (forjado sanitario), sobre espacios no calefactados (sótanos, garajes) o exteriores (soportales).

Como en el caso de las cubiertas, la instalación de aislamiento térmico se puede acometer por el exterior y por el interior.

5.7.1. *Rehabilitación de suelos por el exterior o bajo forjado*

Solo se podrán cuando exista un espacio con altura suficiente como para instalar el sistema de aislamiento. Utilizando aislantes de poro cerrado no se perderán prestaciones, aunque estos se humedezcan.

En los sistemas ligeros se realiza el acabado *in situ* mediante revocos o enfoscados, que pueden ir reforzados mediante mallas de fibra de vidrio u otro material, que le confiera cierta resistencia a la fisuración. Para los sistemas pesados el acabado vendrá ya montado de fábrica junto con el aislamiento en paneles prefabricados y se colocarán sobre perfiles.

5.7.2. *Rehabilitación de suelos por el interior o sobre forjado*

Se consigue aislando el suelo de la vivienda. Es de ejecución sencilla y es conveniente si fuera necesario sustituir el suelo. El aislamiento por el interior requerirá la elevación de la cota del suelo en unos 7 a 10 cm, lo cual debe de ser tenido en cuenta, especialmente para la accesibilidad a la vivienda. En el caso de la instalación de calefacción por suelo radiante, el aislamiento que incluye el sistema suele ser suficiente para cumplir el CTE y puede ser una buena ocasión para optar por este sistema. El material aislante térmico debe tener las prestaciones de:

Compresibilidad y resistencia mecánica, ya que se va a colocar directamente sobre él un revestimiento ligero, como el parqué o laminado, o se va a utilizar como base de una solera flotante de hormigón, más pesada, en cuyo caso es conveniente armarla con un mallazo de reparto que evite cargas puntales sobre el aislante.

En cuanto a la resistencia mecánica del aislante a las cargas a que se vea sometido, se toma como referencia admitida un valor de resistencia a compresión no inferior a 3 Kp/ cm^2 (según ensayo UNE EN 826).

Si se trata de forjados o soleras directamente sobre el terreno, se debe contar con un material imputrescible, de poro cerrado y con alta resistencia a la humedad,

para evitar la ascensión por capilaridad. Solamente será necesaria barrera de vaporen el caso de los suelos en contacto con el aire exterior.

En los casos en que el espacio es muy limitado o en aquellos donde existan cables o tuberías que limiten el uso de planchas, es posible realizar un recrecido usando áridos con propiedades de aislamiento térmico y acústico como arcilla expandida o perlita. Esta solución no introduce excesivo peso en la estructura, por lo que es apropiado para la rehabilitación de forjados antiguos. En forjados que hayan perdido el nivel es necesario calcular el espesor mínimo de la capa de mortero de nivelación aislante y tener en cuenta que para espesores a partir de 8 cm es necesaria la colocación de un mallazo.

5.8. Tratamiento de juntas

El grado de hermeticidad de un edificio viene determinado por la calidad de la piel exterior y su capacidad para controlar el paso de aire. A menudo, se escuchan afirmaciones erróneas como, por ejemplo, que las juntas mal selladas en una construcción ayudan a mejorar la ventilación de un edificio. Las juntas mal selladas pueden no ser suficientes para garantizar el caudal de aire necesario para ventilar el edificio o pueden ocasionar entradas de agua no deseadas.

El principio más importante para el bueno diseño de la estanqueidad del aire es la llamada «regla del lápiz» (Ver figura 17. Regla del lápiz para el diseño de la estanqueidad del aire). La piel del edificio debe ser dibujada sin interrupciones en cada sección (horizontal y vertical) con un lápiz. De este modo se encuentran todos y cada uno de los puntos conflictivos. Esto ayuda a tener el proyecto del edificio controlado puesto que en cada punto hay que aclarar en detalle cómo se construye la continuidad hermética de la piel. Solo lo que es cuidadosamente diseñado puede ejecutarse correctamente en obra y garantizar así la hermeticidad.

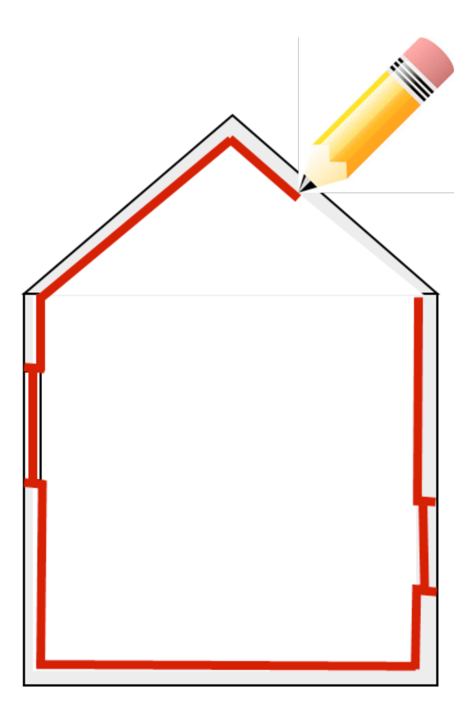
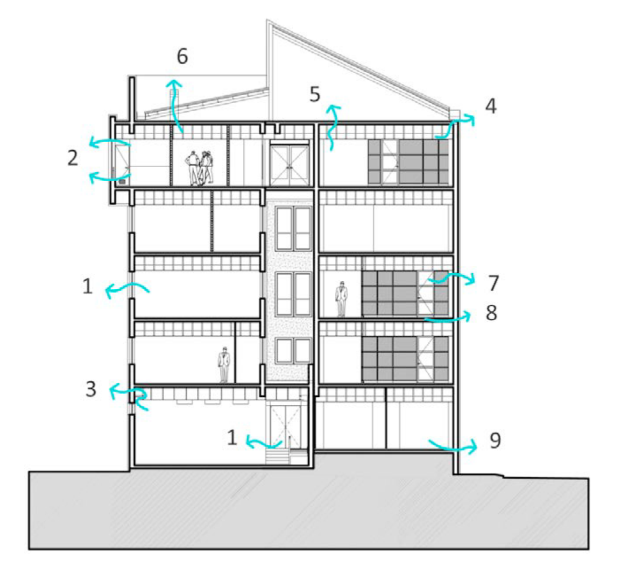


Figura 17. Regla del lápiz para el diseño de la estanqueidad del aire

En la figura se muestran las posibles vías de infiltración de aire presentes en un edificio.



1. Ventanas o puertas poco estancas
2. Rendijas alrededor de las ventanas
3. Juntas mal selladas en falsos techos en contacto con el exterior
4. Rendijas en unión cubierta-fachada
5. Perforaciones en forjado para paso de instalaciones
6. Conductos de ventilación que atraviesan la cubierta
7. Aireador integrado en fachada, ventana o conducto de extracción
8. Rendijas en conductos de desagüe de aseos y cocinas
9. Rendijas en unión suelo-fachada

Otros: juntas de barreras de vapor, cabrios vistos de un tejado, etc.

Figura 18. Posibles de vías de infiltración en un edificio (Fuente: Ruiz Cuevas, R. *Guía de la rehabilitación energética integral de la envolvente de los edificios en Euskadi. Manual de buenas prácticas en la rehabilitación energética integral de los edificios*. Programa de Eraikal)

Para ejecutar las juntas deben emplearse materiales adecuados que proporcionen hermeticidad en los encuentros. Pueden considerarse como herméticos los siguientes materiales:

- Construcciones de fábrica y hormigón. Generalmente es necesario recubrir con un tipo de enlucido la construcción de fábrica para conseguir la hermeticidad, desde el suelo hasta el techo o cubierta. La junta de mortero por sí sola no se considera hermética.

- Láminas herméticas. Pueden ser de plástico, de elastómeros, de bitumen o derivados de papel. Estas no pueden ser perforadas.

- Tableros de cartón-yeso, fibra de cemento, chapas y tableros de madera. Se consideran herméticos, pero debe respetarse el tratamiento especial para solapes, uniones, perforaciones, penetraciones, etc.

Para la ejecución del tratamiento de juntas debe tenerse en cuenta:

- Disponer materiales herméticos como cordones, cintas adhesivas o perfiles especiales puestos con presión suficiente en el solape pueden servir para tapar juntas.

- Las juntas no se deben rellenar con espumas que se autoexpanden puesto que no se puede conseguir una unión hermética o, en el hipotético caso en que esto fuera posible, el material suele degradarse en un corto plazo de tiempo.

- Juntas entre láminas y revoques puestas interiormente pueden ser resueltas fácilmente superponiendo una franja de revoque o mediante una combinación de rastrel elástico en masa colocado mecánicamente y a presión, Lo importante es que la solución para las juntas sea duradera.

- Las penetraciones de tubos, macarrones, pasos de instalaciones, piezas especiales de construcción se tratan con collarines y cintas adhesivas.

- Los materiales de aislamiento generalmente no son herméticos. Para ello habrá que utilizar técnicas combinadas, como por ejemplo junto con enlucidos (en caso de construcción de fábricas de ladrillo) o junto con láminas/tableros (estructuras de madera/acero) para garantizar la hermeticidad.

6. Bibliografía

López Mesa, Belinda, 2009, «Apuntes de la asignatura ED0935 Ecoeficiencia en la Edificación», *Arquitectura Técnica*, Universitat Jaume I.

Olgyay, Víctor 1998, *Arquitectura y clima*, Barcelona. Ed. Gustavo Gili

Manuales de Diseño ICARO de Calidad Ambiental en la Edificación de Manuel Martín Monroy http://editorial.dca.ulpgc.es/ambiente

Givoni B. A. (1969) Man, *Climate and Architecture. Elsevier Architectural Science Series*. Editor Henry J. Cowan; Professor of Architectural Science; University of Sydney. 444-20039-8. Library of Congress Catalog Card 69-15822.

Granados, H. (2006) *Principios y estrategias del diseño bioclimático en la arquitectura y el urbanismo, eficiencia energética. Madrid*: Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España.

Evans, B. H. (1957) Research report 59. Texas Engineering Statlon. College Station, Texas. -Hapel, K. H. (1990) Festigkeitsanalyse dynamisch beanspruchter offshore-konstruktionen, Vieweg Verlag, Braunschweig [en alemán].

Martín Monroy, M. (2006) «Calidad ambiental en la edificación para las Palmas de Gran Canaria. Islas Canarias». *Manuales de diseño ICARO*. Ayuntamiento de las Palmas de Gran Canaria: Las Palmas de Gran Canaria.

Neila González, F. J. (2004) *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Editorial Munilla-Lería. ISBN: 84-89150-64-8

Neila González, F. J. y Beyoda Frutos, C. (1997) *Técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental*. Madrid: Editorial Munilla-Lería. ISBN: 84-89150-20-6.

Olgyay, V. (1998). *Arquitectura y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Editorial Gustavo Gili. ISBN: 84-252-1488-2

Quereda Sala, J., Montón Chiva, E., y Escrig Barberá, J. (2002) «Los registros meteorológicos del año 2001 en el observatorio marino de la Universitat Jaume I. Millars», *Espai i historia*, N.º 25, 2002, pags. 7-22 http://www.raco.cat/index.php/Millars/article/viewFile/130773/180518

Wang Renping, Cai Zhenyu, 2006, «An ecological assessment of the vernacular architecture and of its embodied energy in Yunnan, China», *Building and Environment*, 41, pp. 687-697

Anh-Tuan Nguyen, Quoc-Bao Tran, Duc-Quang Tran, Sigrid Reiter, 2011, «An investigation on climate responsive design strategies of vernacular housing in Vietnam», *Building and Environment*, 46, pp. 2088-2106

Zhiqiang (John) Zhai, Jonathan M. Previtali, 2010, «Ancient vernacular architecture: characteristics categorization and energy performance evaluation», *Energy and Buildings,* 42, pp.357-365

K. Heathcote, «The thermal performance of earth buildings», julio-septiembre 2011, *Informes de la Construcción*, 63, 523, pp.117-126

Juan Antonio García Esparza, 2008, «La Barraca Valenciana, procesos de transformación», *Revista valenciana de etnología*, 3, pp. 145-159

M. Olivares Santiago y R. L. Olmo Escribano, arquitecto. «Los vidrios de baja emisividad», *Materiales de construcción*, Vol. 44, n.° 236, 1994

Passive building energy savings: A review of building envelope components, Suresh B. Sadineni, Srikanth Madala, Robert F. Boehm, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 3617–3631.

Muro de Trombe, Juan Manuel Bohórquez Peñuela, Universidad de los Andes, Bogotá D. C., Colombia, Departamento de Ingeniería Mecánica

Investigación sobre el Comportamiento Térmico de Soluciones Constructivas Bioclimáticas. Aplicación de Nuevas Tecnologías para la Rehabilitación Sostenible de Edificios. Tarea 3. Viabilidad técnico- económica de soluciones bioclimáticas en edificios existentes. Aportación para la redacción del proyecto financiado por el Plan Nacional de I+D RECONSOST (2006-2008). Investigador principal del proyecto coordinado RECONSOST Servando Álvarez Domínguez. AICIA. Grupo de Termotecnia. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla. Universidad de Sevilla. Equipo técnico IETCC (CSIC): Manuel Olaya Adán, José Antonio Tenorio Ríos, Fernando Martín-Consuegra Ávila, María Jesús Gavira Galocha

Presentación de Fernando Martín-Consuegra Ávila. Arquitecto IETCC. Medidas de Mejora para la rehabilitación energética de edificios, tratando muros trombé e invernaderos adosados.

Passive building energy savings: A review of building envelope components, Suresh B. Sadineni, Srikanth Madala, Robert F. Boehm, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 3617–3631.

Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development, Omidreza Saadatian, K. Sopian, C. H. Lim, NilofarAsim, M. Y.Sulaiman, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 6340–6351.

Turquía: Arquitectura troglodita de Capadocia, Daniel Gelabert, arquitecto. Disponible 112 marzo 2014 en:

http://www.raco.cat/index.php/CuadernosArquitecturaUrbanismo/article/viewFile/111701/161026

Los gitanos y las cuevas en Granada, Ángel Pérez Casas, Gazeta de Antropología, 1982, 1, artículo 01

La cueva como vivienda. Forma de expresión de la arquitectura popular adaptada al medio geográfico, M. E. Urdiales Viedma

Sostenibilidad y mecanismos bioclimáticos de la arquitectura vernácula española: el caso de las construcciones subterráneas, Javier de Cárdenas y Chávarri, Luis Maldonado Ramos, María del Mar Barbero Barrera e Ignacio Javier Gil Crespo, 2008, XIV Convención científica de Arquitectura e Ingeniería.

A review of energy aspects of greenroofs, Omidreza Saadatian, K.Sopian, E.Salleh, C.H.Lim, SafaRiffat, Elham Saadatian, Arash Toudeshki, M.Y.Sulaiman, Renewable and Sustainable Energy Reviews 23 (2013) 155–168

Passive building energy savings: A review of building envelope components, Suresh B. Sadineni, Srikanth Madala, Robert F. Boehm, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 3617–3631.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, 2008, Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición al amianto.

PU Europe, 2011, Guía de Seguridad y Salud para la proyección de poliuretano.

Prontuario de soluciones constructivas del CTE. http://cte-web.iccl.es/materiales.php

Comunidad de Madrid, 2012, Guía sobre materiales aislantes y eficiencia energética.

Kusha Ghoreishi Karimi., 2011. *Ecomateriales y Construcción Sostenible, Gestión de las Industrias de la Eco-Innovación.*

Santiago Crespo Escobar, *Materiales de construcción para edificación y obra civil,* 2010, Editorial Club Universitario, Alicante, España.

Gades Pavón, Balma, 2016, Trabajo Final del Máster Universitario en Eficiencia Energética y Sostenibilidad, Universitat Jaume I, Revisión etiquetas ambientales: Declaraciones ambientales de producto. Aplicación a los recubrimientos cerámicos.

Webs de materiales ecológicos: (consultadas 12 de diciembre 2016)

http://www.aisleco.com/index.php

http://www.bioklimanature.com

Instituto de Diversificación y ahorro de Energía, IDEA, varias guías técnicas sobre materiales de aislamiento para rehabilitación de la envolvente térmica: (consultadas 12 de diciembre 2015)

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12300_Guia_SATE_A2012_A_f311a936.pdf

http://idae.electura.es/publicacion/77/soluciones_aislamiento_poliestireno_expandido_eps

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10828_SolucionesAislamientoPoliestirenoExtruido_XPS_A2008_A_c8ad3b44.pdf

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10828_SolucionesAislamientoPoliuretano_A2008_A_a31da982.pdf

http://idae.electura.es/publicacion/75/soluciones_acristalamiento_cerramiento_acristalado

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10828_SolucionesAislamientoEspumasFlexibles_A2008_A_a2a58218.pdf

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10828_SolucionesAislamientoLanaMineral_A2008_A_d7ce7714.pdf

Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid. Guía de rehabilitación energética. Madrid, 2008. (accesible, 02/12/15, en http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-rehabilitacion-energetica-de-edificios-de-viviendas-fenercom.pdf).

Weber, Saint Gobain, *Manual de rehabilitación y habilitación eficiente en edificación.* (accesible, 02/12/15, en: http://www.weber.es/fileadmin/user_upload/02_Pdf_s/12_Bibliotecnica_Tecnica_Weber/Weber_Manual_de_rehabilitacion_y_habilitacion_eficiente_en_edificacion.pdf).

Vanesa Doménech Zea, 2011, Trabajo fin de Máster. Rehabilitación energética de edificios. Estudio de soluciones constructivas y su viabilidad económica en rehabilitación en la rehabilitación energética de la cubierta de edificios existentes en Madrid. Madrid

Instituto Valenciano de la Edificación. Catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación, 2011, http://www.five.es/tienda/product_info.php?products_id=108

Guía de la rehabilitación energética integral de la envolvente de los edificios en Euskadi. Manual de buenas prácticas en la rehabilitación energética integral de los edificios.

IDAE Guía técnica. Instalaciones de climatización con equipos autónomos.

Prontuario de soluciones constructivas del CTE. http://cte-web.iccl.es/materiales.php

Guía sobre materiales aislantes y eficiencia energética. Comunidad de Madrid. 2012

IDAE, 2012. Guía de recomendaciones de eficiencia energética; certificación de edificios existentes CE3.

Webs recomendadas en general para rehabilitación:

www.weber.es

www.isover.net (https://www.google.es/#q=isover,+catalogo+rehabilitaci %C3 %B3n)

www.saint-gobain-glass.com

www.laveneciana-sgg.com

www.saint-gobain-canalizacion.com

www.placo.es

www.lacasaqueahorra.org

www.plataforma-pep.org

www.conama.org

www.structural.es

www.gbce.es

www.cali-club.com

www.mviv.es

www.idae.es

www.e-edifi cacion.com

www.larevoluciondelmenosesmas.es

www.habitatfl ashsaint-gobain.es

www.ursa.es/es-es/productos/Documents/catalogo-rehabilitacion.pdf

TEMA 5. Estimación simplificada de cargas térmicas

1. Introducción

El objetivo del presente capítulo es conocer cómo realizar orientativamente y de modo estimativo los cálculos de demanda térmica sin la utilización de ningún programa de ordenador, para de este modo adquirir orden de magnitud y conocimientos del cálculo de demandas térmicas. Para un cálculo detallado y riguroso de demandas térmicas se recomienda la utilización de alguno de los muchos programas informáticos que existen en la actualidad.

Es de vital importancia para el correcto diseño de un edificio ser capaces de calcular la demanda energética. En el mercado existen programas informáticos que realizan estos cálculos con precisión, pero es el objetivo de este capítulo poder realizar estos cálculos manualmente, de modo que se adquiera soltura y orden de magnitud en la realización de estos .

Lo primero que debemos saber sobre el cálculo de la demanda térmica es que esta es variable a lo largo del tiempo, en general muy variable a lo largo del tiempo, adoptando valores que cambian tanto a lo largo del día como a lo largo de los meses. Este concepto es intuitivo y fácil de entender, puesto que todos sabemos que las cargas térmicas cambian radicalmente de invierno a verano, así como entre el día y la noche, y en función del número de ocupantes. Por ello, distinguimos entre demandas térmicas positivas y negativas, es decir, en ocasiones para mantener las condiciones de confort, necesitaremos extraer energía del edificio y en otras necesitaremos aportar energía al edificio. Cuando extraemos energía del edificio decimos que estamos refrigerando el edificio y cuando aportamos energía al edificio decimos que estamos calefactando el edificio, distinguiéndose por lo tanto entre cargas de calefacción y refrigeración.

2. Clasificación de las cargas térmicas

Es necesario que entendamos los siguientes conceptos respecto a las cargas térmicas. Definimos la carga *térmica instantánea* de climatización de un edificio como la energía que debemos suministrar en ese instante para mantener las condiciones interiores de confort térmico, definiendo estas mediante una temperatura y un gra-

do de humedad relativa. Esta carga puede ser de refrigeración o de calefacción y es variable a lo largo del tiempo.

Definimos como carga *térmica máxima*, al valor máximo alcanzado en un periodo por la carga térmica instantánea. Podemos hablar de la carga térmica máxima en distintos periodos de tiempo, así pues, se puede hablar de la carga máxima diaria, mensual, anual o incluso histórica. Habitualmente se distinguirá entre carga máxima de refrigeración y carga máxima de calefacción, pudiendo en función del diseño y ubicación del edificio alcanzar valores muy similares o muy diferentes.

Definimos como carga *térmica media* al valor medio de las cargas térmicas en un periodo de tiempo. Así pues, podemos hablar de cargas térmicas medias en una hora, día, año, etc. Al igual que en los casos anteriores habitualmente se distingue entre la carga térmica media de refrigeración y de calefacción.

Vistos los conceptos anteriores, es importante separar los conceptos de cargas térmicas instantáneas, máximas y medias.

La carga térmica máxima es interesante desde el punto de vista del diseño de la potencia de los equipos, es decir, si queremos mantener las condiciones de confort en cualquier condición, los equipos del edificio se deberán dimensionar de modo que la potencia térmica de los equipos sea al menos igual a la potencia térmica máxima demandada por el edificio. Por ejemplo, si calculamos que la carga máxima de calefacción en el salón de vivienda es de 5kW, deberemos instalar un equipo (por ejemplo, un radiador) que sea capaz de suministrar al menos 5kW de potencia máxima.

Por otro lado, la carga térmica instantánea es interesante desde dos puntos de vista. Primero, si integramos este valor a lo largo de un periodo podremos calcular la demanda media de energía durante ese periodo y por otro lado, es interesante desde el punto de vista del diseño del sistema de control de potencia de los equipos instalados en nuestro edificio. Por definición la carga térmica instantánea siempre será menor o igual que la carga térmica máxima, y puede adoptar valores muy diversos con perfiles de demanda también muy diversos, dependiendo de la tipología de las cargas presentes en el edificio, pero es importante que adaptemos la potencia real suministrada por los equipos a la potencia instantánea necesaria por la instalación, no a la potencia máxima que los equipos pueden suministrar o por el contrario tendremos problemas. Por ejemplo, en una instalación que tenga una potencia máxima de 5kW, podemos instalar un radiador de 5kW, pero en caso de no realizar ningún tipo de control sobre la potencia del radiador, cuando la potencia instantánea sea menor de 5kW tendremos temperaturas superiores a las necesarias, con la consiguiente pérdida de confort y aumento de consumo energético. En las viviendas es habitual realizar este control con un termostato todo-nada, que al llegar a la temperatura seleccionada desconecta el sistema.

Por último, la carga térmica media se utiliza para calcular el consumo o demanda energética en un periodo de tiempo. Las cargas térmicas son potencias térmicas,

por lo que las medimos en vatios, unidad utilizada en el sistema internacional para medir la potencia, y los consumos energéticos son unidades de energía, por lo que los medimos en Julios o en kWh (kilovatios por hora). Para calcular un consumo de energía durante un periodo de tiempo, se integra la carga instantánea durante ese periodo de tiempo. Así pues, para calcular la demanda energética anual de un edificio, lo que haremos es integrar la carga instantánea del edificio durante un año, obteniendo de este modo la energía consumida en un año. Esta energía la separaremos en calefacción y refrigeración. Del mismo modo podemos obtener el consumo diario, mensual, estacional, etc.

Otro concepto importante que debemos conocer respecto a las cargas térmicas es la diferencia entre cargas térmicas sensibles y cargas térmicas latentes.

Cuando hablamos de cargas *térmicas sensibles*, hablamos de la energía necesaria para variar la temperatura seca, es decir, es la carga asociada a la variación de temperatura.

Cuando hablamos de cargas *térmicas latentes*, hablamos de la energía necesaria para variar la cantidad de agua, es decir, es la carga asociada a la variación de la cantidad de agua o humedad específica.

Las cargas térmicas son muy diversas y pueden ser de distinto signo. En la figura 1, podemos observar un esquema donde aparecen las distintas cargas.

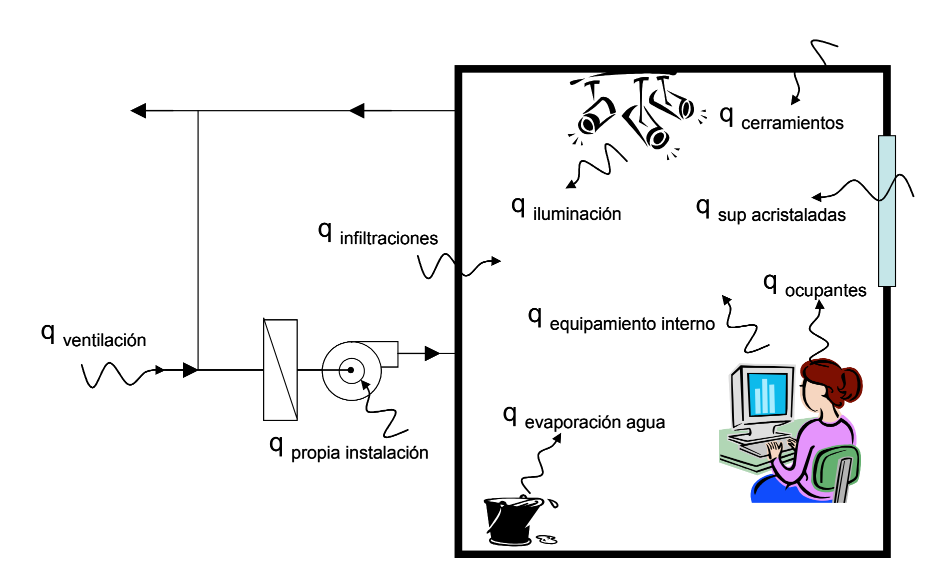


Figura 1. Esquema de cargas térmicas

A modo resumen y de un modo simplificado podemos dividir las cargas según la tabla 1

Tabla 1. Clasificación de cargas térmicas

Clasificación		q_S	q_L
Internas	Ocupación	X	X
	Iluminación	X	—
	Equipamiento interno	X	X
	Masas de agua	X	X
Exteriores	Cerramientos opacos	X	—
	Superficies acristaladas	X	—
	Ventilación	X	X
Propias de la instalación		X	—
Coeficiente de seguridad		X	X

En la tabla 1 podemos observar que estas cargas a su vez pueden tener solo cargas sensibles (qS) o cargas sensibles y cargas latentes (qL), es decir, que afectan solo a la temperatura del local o a la temperatura y la humedad específica.

3. Cargas Internas

3.1. Cargas por ocupantes

Carga sensible: $q_S = n \, . \, q_S$ [W]

Carga latente: $q_L = n \, . \, q_L$ [W]

Donde *n* es el número de ocupantes del local y q_s y q_L son las potencias térmicas (sensible y latente) desprendidas por un ocupante, valores indicados en la tabla siguiente:

Tabla 2. Cargas de ocupación

ACTIVIDAD	TIPO DE LOCAL	ADULTO (AM)	Temperatura seca del local (°C)							
			28		26		24		21	
			q_S	q_L	q_S	q_L	q_S	q_L	q_S	q_L
Sentados, en reposo	Teatro, escuela primaria	114	51	51	61	41	67	35	75	27
Sentados, trabajo ligero	Escuela secundaria	131	52	64	63	53	70	46	79	37
Empleado oficina	Oficina, apartamento, Escuela superior	139	52	79	63	68	71	60	82	49
De pie, marcha lenta	Almacenes, tiendas	161	52	79	63	68	71	60	82	49
Sentado, de pie	Farmacia	161	52	94	64	82	74	72	85	61
De pie, marcha lenta	Banco	161	52	94	64	82	74	72	85	61
Sentado	Restaurante	146	56	105	71	90	82	79	94	67
Trabajo ligero taller	Fabrica, trabajo ligero	234	56	163	72	147	86	133	107	112
Baile	Sala de baile	263	64	184	80	168	95	153	117	131
Marcha 5 km/h	Fabrica, trabajo bastante penoso	292	79	213	96	196	111	181	134	158

AM (mujer adulta) = AM (hombre adulto) x 0,86
AM(niño) = AM(hombre adulto) x 0,75

Debe tenerse en cuenta que la potencia cedida por ocupación representa una carga en verano, pero en contraposición durante el período invernal resulta ser un aporte gratuito (generación interna) que únicamente deberá contabilizarse cuando exista seguridad de su permanencia en las condiciones de cálculo.

3.2. Cargas por iluminación

Carga sensible: $q_S = K \cdot F \cdot P_N$ [W]

donde F es factor correctivo del tipo de alumbrado (1 para incandescente; 1,2 para fluorescentes con reactancias internas al local), y donde por simplificación tomaremos valores de factor correctivo de almacenamiento $K = 1$, y P_N es potencia nominal de alumbrado instalada en el local [W].

Consideraciones en invierno: Debe tenerse en cuenta que la potencia cedida por iluminación, al igual que en el caso anterior, representa una carga en verano, pero en contraposición durante el período invernal resulta ser un aporte gratuito que únicamente deberá contabilizarse cuando exista seguridad de su funcionamiento.

3.3. Cargas por equipamiento interno

Las cargas por equipamiento interno se calculan en función de la energía disipada por los distintos equipos. A modo general y como orden de magnitud podemos ver en la tabla 3 valores habituales para distintos equipos

Tabla 3. Cargas térmicas por equipamiento interno

Equipo	Potencia [W]	Sin campana q_S [W]	Sin campana q_L [W]	Con campana q_S [W]
Cafetera eléct.(12 tazas)	1660	1100	560	530
Lavavajillas(100 platos/h)	380	56	123	56
Grill/plancha (m^2)	26200	1720	970	940
Plancha	1640	700	940	-
Nevera (m^3)	1730	690	-	-
Microondas (30 litros)	600-1400	600-1400	-	-
Secador de pelo	1580	675	120	-
Fotocopiadora	1570-5800	1000-3100	-	-
Ordenador Personal	250	250	-	-
Proyector trasparencias	300	300	-	-
Impresora láser	-	300	-	-

Equipo	Potencia [W]	Sin campana q_S [W]	Sin campana q_L [W]	Con campana q_S [W]
Cafetera (12 l)	-	1025	440	295
Grill/plancha (m^2)	-	15455	8200	4730
Asador de pollos	20510	-	-	2050
Horno pizzas (m^2)	14900	1970	690	270
Baño maría (m^2)	10410	2600	2650	1450

En general, se puede estimar la carga total igual a la potencia del equipamiento interno, aunque es importante considerar factores de utilización, pues los equipos habitualmente no trabajan todo el tiempo a potencia máxima. Por ejemplo, una peluquería puede tener 6 secadores, porque tiene 6 puestos para realizar el corte del cabello, pero esos 6 secadores no estarán funcionando simultáneamente y durante todo el tiempo, por lo que entraríamos en un sobredimensionado excesivo si no contabilizamos un factor de utilización o simultaneidad que contemple el funcionamiento a carga parcial. Al igual que en los casos anteriores, esta carga es un aporte gratuito en invierno y se debe considerar a criterio del proyectista.

3.4. Cargas por masas de agua

Carga sensible:

$$q_S = 5{,}88 \cdot S \cdot \left(1 + \frac{v}{1{,}16}\right)\left(T_{agua} - T_i\right) \text{ [W]}$$

Carga latente:

$$q_L = 3{,}95 \cdot 10^{-5} \left(1 + \frac{v}{1{,}16}\right)\left(p_{vsT} - p_v\right) \cdot S \cdot \left(2501 + 1{,}805 \cdot T_{agua}\right) \text{ [W]}$$

p_{vsT} = presión de vapor a saturación a la temperatura del agua [Pa]

p_v = presión de vapor del aire húmedo ambiente [Pa]

v = es la velocidad del aire [m/s]

S = es la superficie de agua expuesta al ambiente [m^2]

T_{agua} = temperatura del agua [°C]

T_i = temperatura seca del local [°C]

Al igual que en los casos anteriores, esta carga es un aporte gratuito en invierno y se debe considerar a criterio del proyectista.

4. Cargas Externas

4.1. Carga a través de cerramientos

Carga sensible: $q_S = US \ \Delta T_q$ [W],

S = superficie del cerramiento [m^2]

U = transmitancia térmica del cerramiento [W/m^2 K]

ΔT_{eq} = incremento de temperaturas equivalente entre los ambientes externo e interno [°C]

Donde ΔT_{eq} se obtiene según los siguientes casos:

(*a*) Cerramiento exterior verano:

$$\Delta T_{eq} = C \cdot \Delta T_{eq}(tabla) + (24 - Ti) + (T_M - 30)[oC],$$

C = (1 pared oscura, 0,85: color medio, 0,65: color claro),

$T_M = T_e - OMD/2$, (T_e obtenida de la norma UNE 100-001 para un *NP* dado) [°C]

T_i es la temperatura seca de diseño en el local climatizado [°C]

ΔT_{eq} (*tabla*) se obtiene de las tablas adjuntas de cerramientos verticales y cubierta horizontal [°C]

(*b*) Cerramiento exterior invierno:

$$\Delta T_{eq} = (T_e - T_i)[oC],$$

donde T_e es la temperatura exterior obtenida de la tabla UNE-100-001 para un NP dado.

(*c*) Cerramiento interior separación con locales no acondicionados:

$$\Delta T_{eq} = \frac{1}{2}(T_e - T_i) \ [°C],$$

donde T_e es la temperatura exterior obtenida de la tabla UNE-100-001 y UNE-100-001 para un NP dado.

Tabla 4. ΔTeq Cubiertas horizontales

Horas solar																							
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
Cubierta l horizontal ligera (350 kg/m^2; U = 0,75 W/m^{2}K)																							
26	25	25	24	23	22	21	20	18	17	16	16	15	15	15	16	17	19	20	22	23	24	25	25
Cubierta horizontal pesada (500 kg/m^2; U = 1,25 W/m^{2}K)																							
23	23	23	23	22	21	21	20	19	19	18	17	17	17	17	18	18	19	20	21	22	23	23	23

Tabla 5. ΔT_{eq} Cerramientos Verticales

Orient	Horas solar																							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
Muro ligero (200 kg/m²; U = 0,40 W/m²K)																								
N	12	11	10	9	8	7	6	5	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	16	16	16	15	14
NE	14	12	11	9	8	7	6	6	7	8	11	13	15	16	17	17	17	18	19	19	18	17	16	15
E	17	16	14	12	10	8	6	5	6	8	11	14	16	18	19	19	20	21	22	22	22	21	20	19
SE	13	11	10	9	9	9	9	8	8	9	10	12	14	16	18	20	22	23	24	25	23	21	19	16
S	14	12	11	10	8	7	6	5	5	5	6	8	10	13	16	19	20	21	21	21	20	18	17	15
SO	22	20	17	15	13	11	9	8	7	7	7	7	8	12	19	27	32	35	36	35	34	31	28	25
O	22	20	18	15	12	8	6	4	3	5	7	9	12	14	15	17	18	20	22	23	24	24	24	23
NO	18	17	15	12	10	8	6	5	4	5	7	8	10	12	13	14	15	17	19	20	21	20	20	19
Muro peso medio (300 kg/m²; U = 0,52 W/m²K)																								
N	13	12	12	11	11	10	9	9	9	8	8	9	9	9	10	11	11	12	12	13	13	13	13	13
NE	15	14	13	13	12	11	11	10	10	10	11	11	12	13	13	14	14	15	15	16	16	16	15	15
E	18	17	16	15	14	13	12	11	11	11	12	13	14	14	15	16	16	17	17	18	18	18	18	18
SE	16	15	14	14	13	13	12	12	12	12	12	12	13	13	14	15	16	17	18	19	19	19	18	17
S	15	14	14	13	12	11	11	10	9	9	9	9	10	11	12	13	14	15	16	16	16	16	16	15
SO	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	13	13	13	15	18	21	23	25	25	26	26	25	24
O	19	19	18	17	16	15	13	12	11	10	10	11	12	13	13	14	15	15	16	17	18	19	19	19
NO	16	16	16	15	14	13	11	10	10	9	10	10	10	11	11	12	13	13	14	15	16	16	16	16
Muro pesado (500 kg/m²; U = 0,43 W/m²K)																								
N	12	12	12	12	11	11	11	11	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11
NE	14	14	14	14	14	13	13	13	13	12	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13	14	14	14
E	16	16	16	16	16	16	16	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14	15	15	15	15	16	16	16
SE	16	16	16	16	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	15	15	15	16	16	16
S	14	14	14	14	14	13	13	13	13	12	12	12	12	11	12	12	12	12	13	13	13	14	14	14
SO	21	22	21	21	21	21	20	20	19	19	18	18	18	17	17	17	17	18	18	19	20	20	21	21
O	16	16	17	17	17	17	16	16	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14	15	15	15	16	16
NO	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13	14

(*d*) Cerramiento interior separación con locales acondicionados a diferente temperatura:

$$\Delta T_{eq} = (T_i^* - T_i)[oC]$$

En la que T_i^* es la temperatura ambiente en el local colindante [ºC], que en caso de ser superior a la deseada en el local objeto de estudio ocasiona una ganancia de calor, que sería una pérdida en caso contrario.

4.2. Carga a través de superficies acristaladas

La carga total a través de superficies acristaladas es una carga sensible que se puede evaluar en verano como:

$$q_S = q_{cond-conv} + q_{rad}$$

Y en invierno como:

$$q_S = q_{cond-conv}$$

Carga sensible por conducción-convección:

$$q_{cond-conv} = US\ (T_e - T_i)\ \text{[W]}$$

S = superficie del cerramiento [m^2].

U = transmitancia térmica del cerramiento [W/m^2 K].

T = temperatura seca [ºC] correspondiente a los ambientes externo «e» o interno «i», donde T_e se obtiene de las tablas

(Considerar para Castellón Te=31.8 ºC)

Carga sensible por radiación:

$$q_{rad} = S \cdot F_H \cdot CSR_{orientación}\ \text{[W]}$$

Donde,

S [m^2] es la superficie total del acristalamiento

$CSR_{orientación}$ [W/m^2] es la carga solar por radiación para la orientación de la ventana en el momento considerado (tablas adjuntas) y

F_H es el llamado Factor Solar Modificado.

Tabla 6. Carga térmica instantánea (CSR*) para instalación en julio a las 15 horas con elementos de sombra interiores

FI	P kg/m²	Orientación								
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Hor
24 h.	≥750	101	87	122	129	203	167	68	40	530
	500	104	82	122	129	203	177	70	41	455
	150	118	67	95	107	172	218	85	47	580
16 h.	≥750	101	87	122	129	203	167	68	40	530
	500	104	82	122	129	203	177	70	41	455
	150	118	67	95	107	172	218	85	47	580
12 h.	≥750	115	108	156	161	230	187	79	49	540
	500	118	97	143	150	224	195	79	48	465
	150	120	67	95	107	172	220	87	49	590

Tabla 7. Carga térmica instantánea (*CSR**) para instalación en julio a las 15 horas sin elementos de sombra interiores

FI	P kg/m²	Orientación								
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Hor
24 h.	≥750	83	113	177	188	175	109	35	20	440
	500	91	108	170	193	196	127	39	23	455
	150	116	82	122	172	258	197	64	32	480
16 h.	≥750	90	113	177	188	175	119	35	20	460
	500	96	108	170	193	196	127	39	23	475
	150	114	82	122	172	258	197	64	32	490
12 h.	≥750	110	149	231	242	224	144	55	36	470
	500	114	133	211	236	234	157	56	36	495
	150	120	82	122	172	261	202	68	36	510

$$q_S \approx 1200 \cdot V \cdot (T_e - T_i) \text{ [W]}$$

4.3. Carga por renovación del aire

Carga sensible: $q_S \approx 1200 \cdot V \cdot (T_e - T_i)$ $[W]$

Carga latente: $q_L \approx 3002400 \cdot V \cdot (W_e - W_i)$ $[W]$

V = el caudal volumétrico de aire introducido [m^3/s].

T = temperatura seca [°C] correspondiente a los ambientes externo «e» o interno «i», donde T_e se obtiene de la norma UNE 100-001.

W_* = humedad específica, correspondiente a los ambientes externo «e» o interno «i».[kg_v/ kg_{as}].

W_e (verano) se obtiene a partir de la temperatura seca y húmeda coincidente en verano tabla UNE-100-001.

W_e (invierno) se obtiene a partir de la temperatura seca en invierno tabla UNE-100-001 considerando una humedad relativa del orden del 80 %.

Considerar para Castellón los siguientes datos:

Invierno

Ts = –0.2 °C Hr = 85 % (con el diagrama psicométrico calcular W [kg_v/ kg_{as}].

Verano

Ts = 31.8 °C Hr = 45.1 % (con el diagrama psicométrico calcular W [kg_v/ kg_{as}].

5. Cargas Propias de la Instalación

Debido a la complejidad en su estimación, estas cargas se pueden englobar dentro del coeficiente de seguridad, aumentando aproximadamente un 5 % la carga sensible total. No obstante, si se dispone de suficiente información la estimación de estas cargas se realizaría como sigue, teniendo en cuenta que esta carga supone una aportación gratuita en invierno y, por tanto, se debe considerar a criterio del proyectista.

5.1. Carga producida por ventiladores

Determinamos esta carga mediante la siguiente expresión:

$$q_S = \frac{\Delta p\, V}{h_{ventilador}} \text{ [W]},$$

con V caudal volumétrico en [m^3/s]; Dp en [Pa].

El caudal volumétrico, V, se puede obtener como:

$$V = \frac{\sum q_S}{1200\,\Delta T} \text{ [m}^3\text{/s]},$$

y los incrementos de presión normales, *Dp,* según el tipo de unidad de acondicionamiento.

5.2. Carga por paso de conducciones por espacios no acondicionados

En el caso de que tengamos conducciones que pasen por locales no acondicionados se puede estimar dicha carga mediante la siguiente expresión:

$$\frac{q}{L} = U\,2\pi\,r\,\Delta T \;\; \text{[W/m}_{\text{conducción}}\text{]},$$

Siendo:

- *U*: coeficiente global de transmisión de calor de la conducción [W/m^2 K]
- *r*: radio de la superficie a la que se encuentra referido el coeficiente global (tómese el hidráulico para conductos no circulares) [m]
- *DT*: diferencia de temperaturas entre los fluidos interno y externo [ºC]

6. Coeficientes de Seguridad

En la práctica suele variar entre un 0 y un 10 % de la carga total, aplicado tanto a las cargas sensibles como latentes.

El coeficiente de seguridad se introduce para sobredimensionar la instalación para contrarrestar los posibles errores de diseño.

7. Autoevaluación

1. Explique que es la carga sensible y la carga latente y en qué se diferencian.

2. Explique el concepto de carga térmica máxima, carga térmica instantánea y carga térmica media.

3. Explique la diferencia entre potencia térmica máxima y la demanda anual de la instalación.
4. Explique cómo calcular la demanda anual de una instalación.
5. Clasifique y explique brevemente las diferentes cargas térmicas presentes en una instalación.

TEMA 6. Instalaciones del edificio en relación a la eficiencia energética

1. Eficiencia energética e instalaciones

La demanda energética de un edificio para alcanzar el confort térmico viene determinada por el diseño del edificio (orientación, compacidad…), la composición de su envolvente térmica y por las condiciones climatológicas del entorno. Sin embargo, el consumo energético del edificio será también dependiente de las instalaciones de climatización, del agua caliente sanitaria y de la iluminación del mismo.

En principio, en España, en lo que se refiere a la certificación energética de edificios residenciales, se consideran tres grandes grupos de instalaciones: calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria. Otras instalaciones como las de iluminación, se desprecian en los procedimientos aplicados a usos residenciales, aunque sí se aplican en usos terciarios, donde la iluminación requiere mayor consumo.

En los procedimientos de certificación energética, se debe dar información, por lo tanto, acerca de las mencionadas instalaciones. Un aspecto fundamental es la fuente energética o combustible utilizado.

Una de las críticas que se ha hecho a las primeras versiones de los programas Lider y Calener, que eran las plataformas que permitían llevar a cabo el procedimiento de certificación energética, por la opción general, era el elevado peso que se atribuía a las instalaciones en los resultados. De esa manera se minimizaba el importante papel de la envolvente y de las medidas pasivas, cuando el punto de partida debería ser minimizar las demandas energéticas y como consecuencia, se minimizarían los consumos.

La herramienta unificada Lider-Calener (HULC) es la versión vigente desde enero de 2016. Esta parece corregir alguno de los errores de las versiones anteriores. Así, los factores de emisión de CO_2 y coeficientes de paso a energía primaria para electricidad y gas natural son de 0,331 y 0,252 $kgCO_2$/kWh, respectivamente, frente a los valores 0,649 para energía eléctrica y 0,204 para gas natural, que se manejaban en las primeras versiones anteriores de los programas y que suponían el triple de emisiones simplemente por tener electricidad frente a gas natural. Y todavía mejor será la calificación al simular una instalación de biomasa, según el Instituto de Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), el factor para la biomasa es de 0,018 $kgCO_2$/kWh, aunque anteriormente se consideraba nulo al ser considerado

combustible neutral (compensa sus emisiones por el CO_2 que absorbió cuando era material vegetal).

En cualquier caso, la definición de las instalaciones del inmueble, es un punto relevante y variará ligeramente, según el software utilizado. En este tema se muestra la forma de definición para la herramienta HULC y para el software CEX. El software HULC corresponde a la verificación de la opción general y puede emplearse para cualquier edificio, nuevo o existente. En segundo lugar, se describirá brevemente para el programa CEX, opción simplificada aplicable a edificación existente y, por tanto, a la mayoría de casos de rehabilitación energética (cuando no se modifique más de un 25 % de la envolvente o se superen los 1000 m^2 útiles).

2. Breve descripción de instalaciones en las principales herramientas de certificación

La demanda energética de un edificio para alcanzar el confort térmico viene determinada por el diseño del edificio (orientación, compacidad…), la composición de su envolvente térmica y por las condiciones climatológicas del entorno. Sin embargo, el consumo energético del edificio será también dependiente de las instalaciones de climatización del mismo.

2.1. Instalaciones con la Herramienta Unificada Lider-Calener

La Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC), es la vigente desde el 14 de enero de 2016, momento a partir del cual, las verificaciones de CTE deben realizarse con la versión 0.9.1431.1016 o posterior. La nueva versión de la herramienta es compatible con los archivos digitales generados por las versiones antiguas de los programas, requiriendo en algunos casos la actualización de datos.

La principal novedad es que la HULC unifica en una sola plataforma de los anteriores programas generales oficiales empleados para la evaluación de la demanda energética y del consumo energético y de los Procedimientos Generales para la Certificación energética de Edificios (LIDER-CALENER), así como los cambios necesarios para la convergencia de la certificación energética con el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), ambos actualizados en el año 2013.

Esta herramienta informática permite la verificación de las exigencias:

- HE0: apartados 2.2.1, 2.2.1.1 y punto 2 del apartado 2.2.2.1 y apartado 2.2.2.
- HE1 del Documento Básico de Ahorro de Energía DB-HE.

- Otras exigencias de las secciones HE0 y HE1 que resulten de aplicación deben verificarse por otros medios.

La HULC genera el informe en formato oficial para la Certificación energética de Edificios, así como un archivo digital en formato XML, que contiene todos los datos del certificado y será válido para su registro.

Así mismo en esa versión se han introducido algunos cambios que pueden suponer una variación en el resultado obtenido al realizar la calificación energética respecto a versiones anteriores. Los cambios más significativos, de acuerdo a Nota Informativa del Ministerio de Industria, Energía y Turismo son:

- Indicador de consumo de energía: se ha adoptado como indicador de consumo en la certificación, el de consumo de energía primaria no renovable, en correspondencia con la sección HE 0 del DB HE, conforme a lo establecido en la Directiva 2010/31/UE.

- Datos climáticos y escalas de calificación: los datos climáticos utilizados para la certificación se han unificado con los definidos en el DB HE para las diferentes zonas climáticas. Asimismo, se han corregido convenientemente las escalas para adaptarlas a los nuevos climas, manteniendo los criterios establecidos anteriormente para la fijación de los límites de las diferentes clases.

- Factores de paso: se han implementado en el procedimiento de certificación los factores de paso actualizados establecidos en el Documento Reconocido del RITE, «Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios de España.»

- Sistemas de sustitución: las características técnicas de los sistemas de sustitución se han modificado para adecuarlas a las exigencias reglamentarias establecidas en el RITE.

- Niveles de ventilación en edificios de viviendas: se han definido niveles de ventilación más acordes con las condiciones reales de uso de los edificios de viviendas.



Figura 1. Imagen interfaz de la HULC

Previamente a la introducción de las instalaciones se dispondrá de las zonas en que se divide el edificio y que se habrán definido geométrica y constructivamente.

Si bien en los últimos temas de esta asignatura se tratarán las instalaciones con mayor profundidad, y las cuestiones más técnicas que se refieren a estos elementos, en este tema se describirá brevemente cuestiones referentes a la introducción de los datos en el software. En la HULC, la información se organiza de acuerdo a los siguientes conceptos.

3. Sistemas de climatización

El programa ofrece distintas opciones para selección de sistemas. La versión VYP dedicada a usos residenciales, solo requiere la información referente a instalaciones de agua caliente sanitaria, calefacción y refrigeración. Sin embargo, para gran terciario, versión GT, se debería incluir también la iluminación. La definición de los sistemas permite evaluar el consumo de energía final, a partir del cual se puede obtener el consumo de energía primaria no renovable y las emisiones de CO_2. La definición de los sistemas depende de la solución que se haya adoptado en el edificio, y cada sistema presenta sus ventajas e inconvenientes particulares que trataremos de describir a continuación.

El sistema sería el primer concepto a introducir cuando se definen las instalaciones. No es un concepto identificable a un objeto físico en sí mismo, sino que es el que contiene la información sobre el control de los equipos que lo componen, por ejemplo, un sistema de calefacción podría estar compuesto por una caldera y ra-

diadores. Un sistema puede ser de calefacción, de climatización, de agua caliente sanitaria, mixtos de calefacción y agua caliente sanitaria, unizona o multizona, etc. La figura 2 ilustra la apariencia que tiene en el programa HULC:

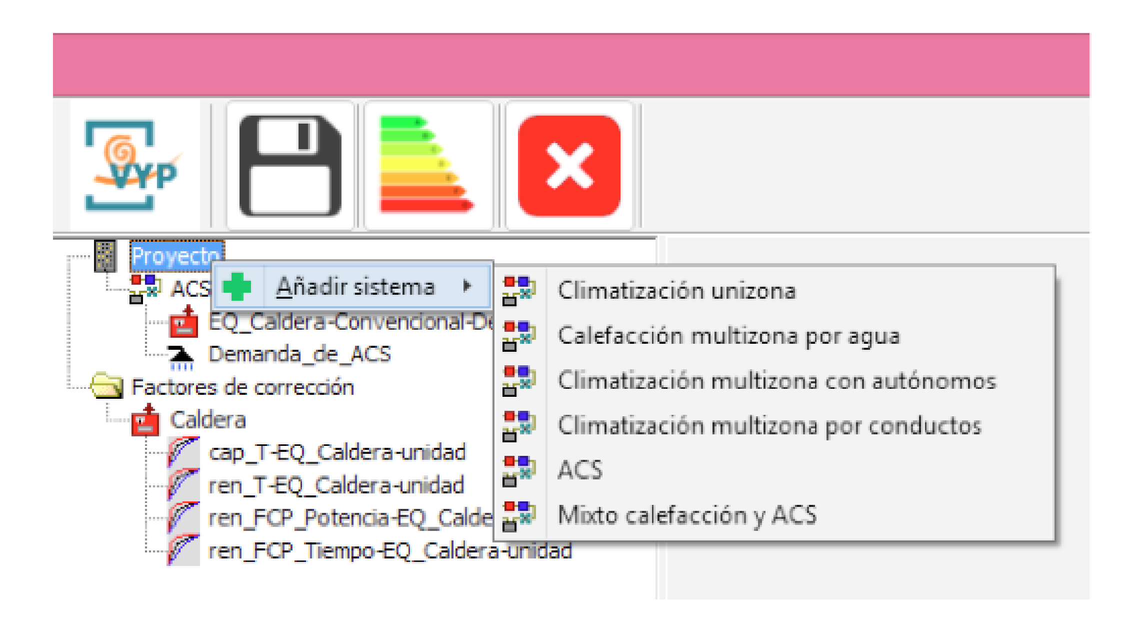


Figura 2. Ejemplo de Sistemas en Vivienda Unifamiliar (Fuente: ejemplo HULC versión 0.9.1431.1016)

Básicamente, el HULC distingue entre los siguientes sistemas:

- Climatización unizona
- Calefacción multizona por agua
- Climatización multizona por autónomos
- Climatización multizona por conductos
- ACS
- Mixto calefacción y ACS

El programa distingue entre Calefacción, climatización y ACS, y entre sistemas unizona y multizona.

Se entiende que la Climatización puede dotar a la zona de frío, de calor o de frío y calor.

Cuando hablamos de sistemas unizona, nos referimos a que el sistema solo afecta a una zona y se entiende una zona como un espacio con un único control de temperatura.

Cuando nos referimos a equipos multizona, nos referimos a que un equipo actúa sobre más de una zona, y a su vez los clasifica como equipos que funcionan por agua, equipos autónomos o equipos por conducto.

Hay que aclarar que existen equipos que son capaces de funcionar en sistemas unizona o multizona, por ejemplo, un equipo de climatización por conductos se puede utilizar para climatizar una única zona o un conjunto de zonas.

Procedemos a describir con detalle cada uno de los sistemas y equipos que lo forman:

3.1. Climatización Unizona

Este sistema se caracteriza porque se le asocia únicamente un espacio de los que se han definido geométricamente, por ejemplo, se muestra en la figura 3 como podemos seleccionar en un sistema unizona la zona afectada. Las zonas pueden ser referenciadas por más de un sistema, por ejemplo, en un sistema para una misma zona suministre calefacción con un equipo y refrigeración con otro distinto.

Respecto a la ventilación es importante matizar que el programa trabaja con dos valores, el caudal de aire exterior y el caudal de aire impulsado por el sistema. Cuando el caudal de aire de ventilación sea mayor que cero, se considerará que se produce una mezcla entre el aire exterior de ventilación y el interior recirculado antes de que el aire pase por el equipo de tratamiento.

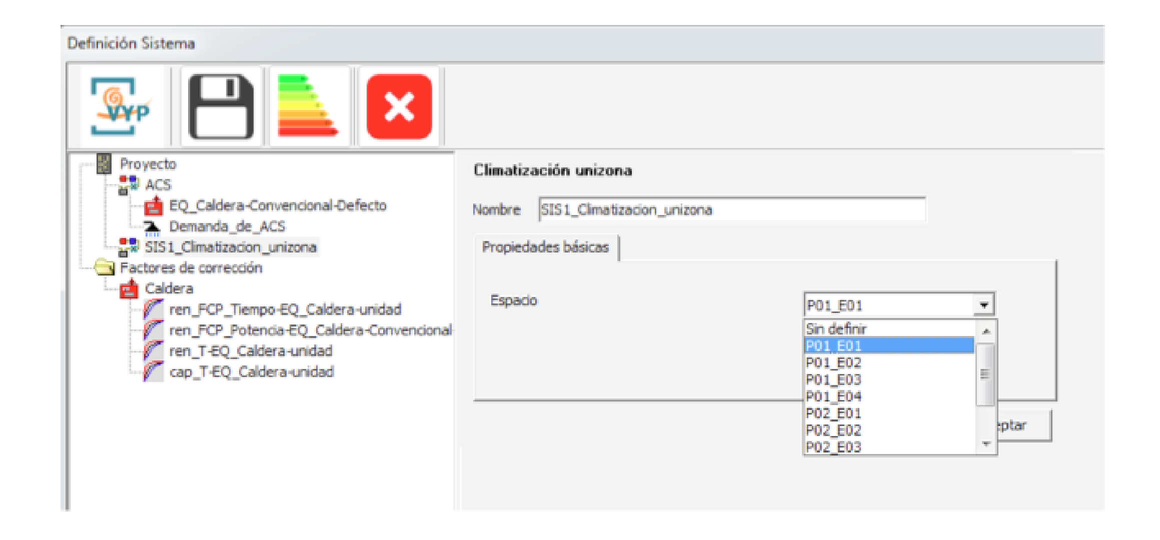


Figura 3. Ejemplo de Sistema Climatización Unizona en vivienda unifamiliar (Fuente: ejemplo HULC versión 0.9.1431.1016)

Posteriormente a la elección de la zona debemos añadir un equipo (solo admite un equipo por zona). Tal y como se muestra en la figura 4 los equipos disponibles son:

- Equipo Autónomo Solo Frío.
- Equipo Autónomo bomba de Calor.
- Calefactor eléctrico.
- Equipo ideal.

Los equipos los describimos con detalle en el punto 5.

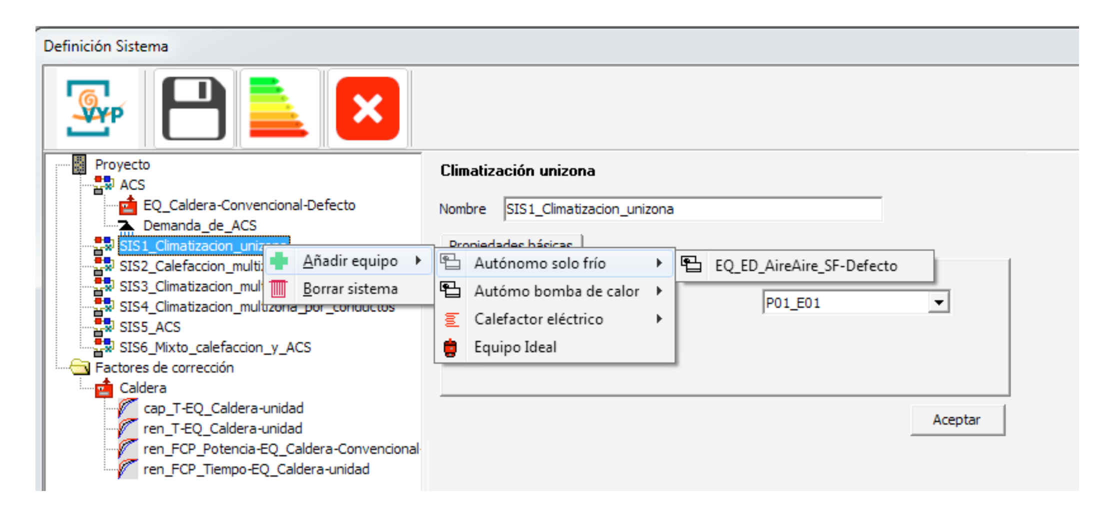


Figura 4. Equipos posibles en Sistemas de Climatización unizona en vivienda unifamiliar (Fuente: ejemplo HULC versión 0.9.1431.1016)

3.2. Climatización Multizona

Este sistema se caracteriza porque se asocia a varios espacios de los que se han definido geométricamente. Los equipos multizona pueden ser:

- Por agua
- Por equipos autónomos
- Por conductos

En todos los casos el primer paso es añadir el equipo y posteriormente la unidad terminal. Se pueden añadir uno o varios equipos, y de cada equipo se selecciona una o varias unidades terminales, definiéndose la zona afectada en la unidad terminal.

En la figura 5 de muestra cómo podemos seleccionar en un sistema multizona por agua los equipos disponibles.

El multiplicador de sistemas es el número de sistemas iguales que existen en el edificio. El programa comprobará que, las zonas abastecidas por cada una de las unidades terminales de este sistema, tienen un multiplicador que sea divisible por el multiplicador del sistema, es decir, dará un error si se coloca un sistema con multiplicador igual a 2 con una unidad terminal que abastece a una zona con multiplicador igual a 1. Esta propiedad es útil si hay varios sistemas iguales en el mismo espacio. El número de espacios definidos y el de sistemas debe ser congruente. Es decir, si se define un edificio completo con muchos espacios iguales, se puede emplear un multiplicador para los sistemas; en cambio, si el edificio se ha definido geométricamente con multiplicadores, solo deben definirse los sistemas de los espacios definidos. No deben volverse a definir con multiplicadores. Esto se utiliza también en sistemas de ACS.

3.2.1. *Equipos multizona por agua*

Los equipos multizona por agua son sistemas donde el fluido caloportador es el agua o el agua glicolada. El HULC solo permite utilizar estos sistemas para calefacción, estando disponibles equipos bombas de calor aire agua y calderas. Es necesario definir en cada sistema multizona uno o más equipos generadores y una o más unidades terminales.

Solo se dispone como unidades terminales de radiadores, los cuales solo se pueden utilizar para calefacción.

Hay que mencionar que estos sistemas también se pueden utilizar para refrigeración (mediante equipos bomba de calor aire-agua), para calefacción (mediante calderas o bombas de calor) o para ambas cosas (equipos bomba de calor) siendo en este caso los elementos terminales necesarios para poder suministrar refrigeración los fancoils. El HULC también deja fuera otro tipo de sistema bastante habitual en viviendas y que se debería caracterizar como equipo multizona por agua, el suelo radiante. En caso de que nuestro edificio utilice los sistemas de fancoils y se suelo radiante, pueden ser caracterizados a través de la opción «equipo ideal» utilizando un sistema unizona.

Describiremos con detalle estos equipos y como caracterizarlos en el punto 5.

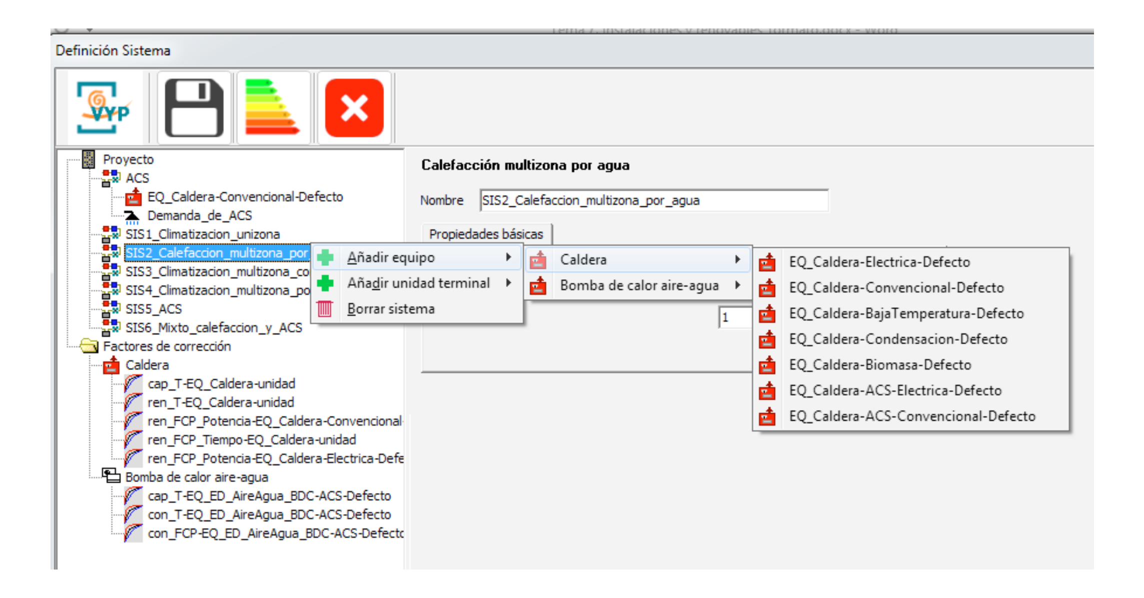


Figura 5. Equipos posibles en Sistemas de Climatización Multizona por agua en vivienda unifamiliar (Fuente: ejemplo HULC versión 0.9.1431.1016)

3.2.2. *Equipos multizona por equipos autónomos*

Los equipos multizona por equipos autónomos, son sistemas de expansión directa donde proporcionamos refrigeración y/o calefacción a un conjunto de zonas mediante unidades interiores de expansión directa, ya sea de tipo pared, cassete, conductos, etc. Estas unidades van unidas a través de tuberías de refrigerante a la unidad exterior, disponiéndose de una unidad exterior y una o más unidades interiores. Esta solución es la utilizada en los multisplit, aunque también se puede adaptar a sistemas de VRV. Explicaremos con más detalle en el punto 5.7 el funcionamiento de estos equipos.

Es importante matizar que en caso de que en nuestro edificio tengamos más de una unidad exterior, deberemos añadir otro sistema multizona por equipos autónomos, pues cada uno de los sistemas multizona por equipos autónomos solo admite una unidad exterior.

Este tipo de sistemas, según la definición efectuada por el HULC en sistemas para viviendas, no es capaz de suministrar simultáneamente refrigeración y calefacción, es decir, no permite tener una unidad interior trabajando en modo refrigeración y otra unidad interior trabajando en calefacción. El programa actuará calculando el sumatorio de cargas de calefacción y refrigeración y suministrará energía de refrigeración si las cargas de refrigeración son mayores que las de calefacción y suministrara calefacción en el caso opuesto. De este modo, se dará suministro a la carga de mayor cuantía y se dejará sin efecto las cargas de signo opuesto, por lo que solo tendremos consumo energético en las cargas de mayor cuantía.

Es importante matizar que en el mercado hay equipos que permiten trabajar en refrigeración y en calefacción de forma simultánea, teniendo una eficiencia ener-

gética en estos puntos de trabajo muy elevada, pero de disponer de estos equipos se deberán caracterizar como equipos ideales. Se describen estos equipos en el punto 5.

En el caso de que estemos en un edificio pequeño o mediano terciario (PMT), tal y como podemos ver en la figura 6 se puede introducir la posibilidad de recuperación de calor. En el caso de que seleccionemos que no disponemos de recuperación de energía el sistema se comportará como en el caso descrito anteriormente para las viviendas, pero si seleccionamos que el equipo dispone de recuperación, implica que el sistema podrá abastecer de forma simultánea demandas de refrigeración y calefacción, y de este modo se dará suministro a ambas cargas, pero a efectos de contabilizar la demanda energética, se considerará que las cargas de diferente signo se cancelan y el sobrante se disipa al exterior. En este caso parte de la demanda se efectúa de forma gratuita, y el rendimiento de la instalación mejora considerablemente. Este tipo de sistemas son interesantes en edificios que un alto número de horas al año presentan cargas simultaneas de refrigeración y calefacción, pues la inversión inicial en este tipo de sistemas aumenta considerablemente.

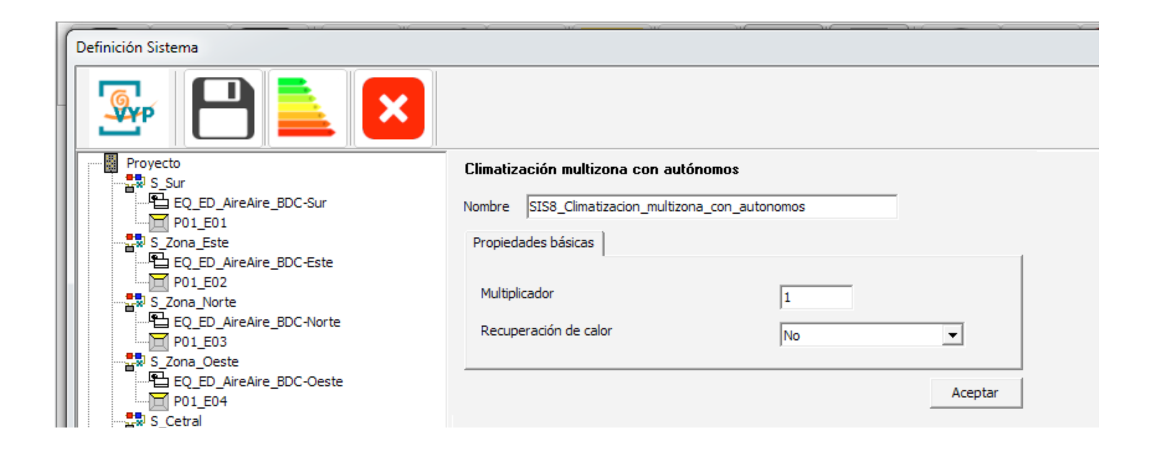


Figura 6. Equipos multizona con autónomos en pequeño y mediano terciario (Fuente: ejemplo HULC versión 1.0.1528. 1109)

3.2.3. *Equipos multizona por equipos conductos*

Los equipos multizona por equipos conductos, están basados en equipos que distribuyen aire para abastecer las demandas de refrigeración y/o calefacción múltiples zonas. En este caso se debe disponer de un equipo unido a una o varias unidades interiores de conductos, y cada unidad interior debe abastecer a una zona diferente. Las unidades terminales disponibles son bocas de extracción, y se debe añadir una única boca por zona climatizada. En caso de que tengamos más de una boca de impulsión por zona, sumaremos el caudal de todas las bocas de la misma zona y se considerará que existe una única boca de impulsión de aire para la zona

con la suma de caudales. Se entiende que cada zona es el espacio controlado por un único termostato. Un edificio puede contener varios equipos multizona.

Respecto al aire recirculado hacia el equipo se calculará como una mezcla del aire procedente de las diferentes zonas abastecidas. Este aire recirculado tendrá las mismas proporciones entre caudales de aire, que las existentes en los caudales de impulsión nominales de las unidades terminales de impulsión de aire.

En el caso de edificios para pequeño y mediano terciario (PMT), adicionalmente a las características descritas para los equipos de viviendas, tal y como se muestra en la figura 7 se permite el enfriamiento gratuito mediante aire exterior (Free-cooling) y recuperación de calor del aire de ventilación. En el caso de enfriamiento gratuito mediante el aire exterior, se realizará un control mediante la temperatura seca exterior e interior, y el programa calculará el ahorro energético obtenido. En el caso de instalar un recuperador de energía del aire de ventilación, deberemos introducir la eficiencia del recuperador, y se considerará que se recupera el calor sensible. En caso de que queramos introducir un recuperador de calor sensible y latente, deberemos simularlo con el CALENER GT.

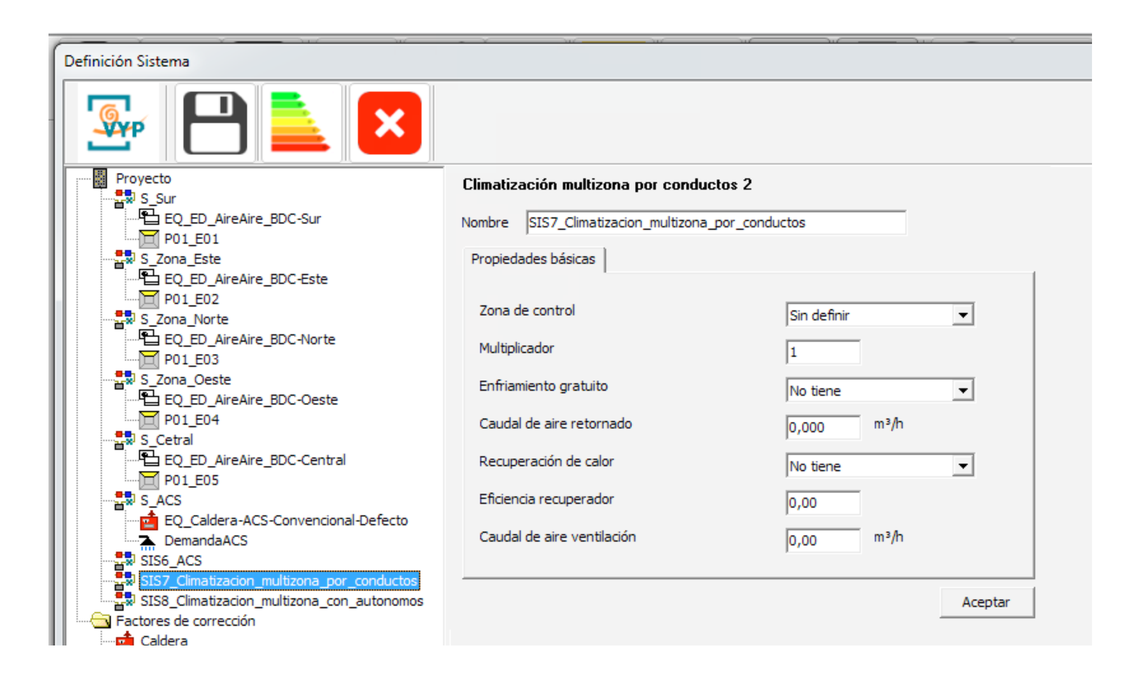


Figura 7. Equipos multizona por conductos en pequeño y mediano terciario (Fuente: ejemplo HULC versión 1.0.1528. 1109)

Como resumen, los equipos disponibles en función de la solución elegida son como sigue:

Climatización Unizona

- Equipos:

  Autónomo solo frío
  Autónomo bomba de calor
  Calefactor eléctrico
  Equipo ideal

Climatización Multizona por agua

- Equipos:

  Caldera
  Bomba de Calor Aire-Agua

- Unidades terminales:

  Radiador de agua

Climatización Multizona por equipos autónomos

- Equipos:

  Unidad exterior Autónomo

- Unidades terminales:

  Unidad interior Autónomo

Climatización Multizona por conductos

- Equipos:

  Autónomo Solo Frío
  Autónomo Bomba de Calor

- Unidades terminales:

  Boca de impulsión

Los equipos y las unidades terminales se describen con detalle en el punto 5.

4. Sistemas de ACS

En el HULC para introducir el sistema de Agua Caliente Sanitaria, introduciremos un sistema ACS, donde en primer lugar se especificará la demanda cubierta por el sistema solar térmico para el cumplimiento del CTE-HE. El HULC no comprueba un correcto funcionamiento del sistema solar, que deberá ser verificado por otros medios, como por ejemplo el CHEQ4, que explicamos en el capítulo 9 de este libro, pero sí que supondrá que la demanda se verá decrementada en el porcentaje introducido, por lo que es muy importante que verifique con exactitud la demanda real cubierta por el sistema de apoyo solar. Posteriormente se introducirá el sistema de generación, tal y como se muestra en la figura 8, se especificará la demanda y si el sistema dispone o no de equipo de acumulación.

En la demanda de ACS, debemos introducir los litros / día consumidos, así como la temperatura de consumo. HULC calculará la energía consumida teniendo en cuenta el salto de temperaturas entre la temperatura de consumo y el agua de red, los litros de agua consumidos y la demanda cubierta con el apoyo solar.

El programa simulará el consumo del equipo seleccionado para producir el agua caliente sanitaria, que podrá ser una o más calderas o una o más bombas de calor aire-agua, y considerará las demandas de agua caliente sanitaria correspondientes a los diferentes servicios que debe abastecer. Podrá incluirse opcionalmente uno o varios acumuladores de agua caliente

Respecto a los equipos que podemos introducir para cubrir la demanda de ACS, son los siguientes:

- CALDERAS

  Caldera Eléctrica.
  Caldera Convencional.
  Caldera Baja temperatura.
  Caldera de Condensación.
  Caldera de Biomasa.

- EQUIPOS BOMBA DE CALOR AIRE-AGUA

- EQUIPO ACUMULADOR

Los equipos los describimos con detalle en el Punto 5, pero básicamente podemos distinguir entre calderas con varios tipos de combustibles y bombas de calor. Para definir con detalle los equipos, en caso de que conozcamos las curvas de rendimiento será interesante introducirlas, pues mejoraremos la exactitud de los cálculos de la demanda del edificio, pero en caso de no disponer de datos fiables de los equipos o estar en la fase de diseño de un edificio y no saber exactamente las características exactas del equipo seleccionado, dejaremos los datos por defecto que nos ofrece el programa.

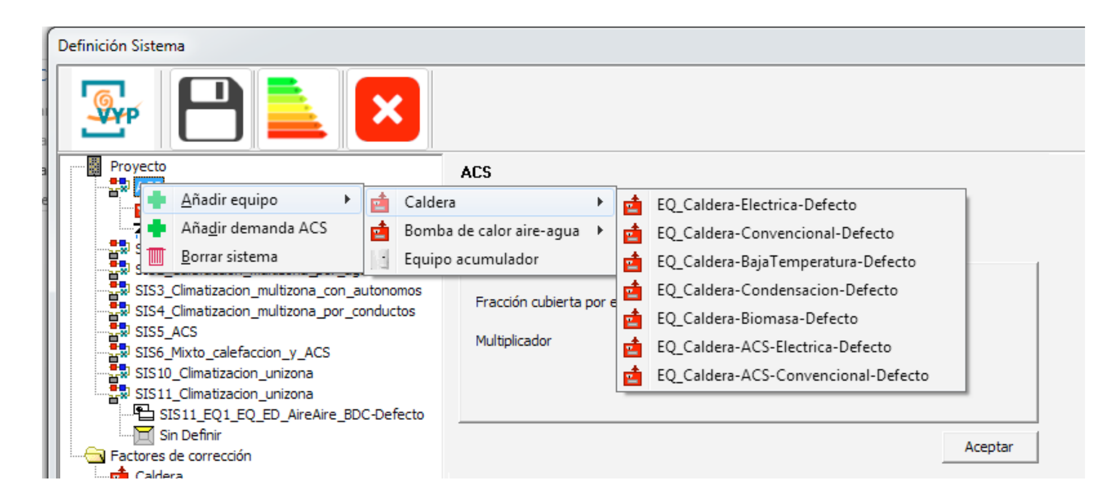


Figura 8. Equipos posibles en Sistemas de ACS en vivienda unifamiliar (Fuente: ejemplo HULC versión 0.9.1431.1016)

4.1. Sistemas Mixtos de Calefacción de ACS

Este sistema simula equipos que abastecen simultáneamente la producción de agua caliente sanitaria y calefacción de un edificio a través de una instalación de agua caliente. En este caso el sistema dispondrá de uno o más equipos generadores de agua caliente, que abastecerán la demanda o demandas de ACS introducidas, así como la demanda o demandas de calefacción que especifiquemos. Al igual que en el caso anterior también podremos introducir sistemas de acumulación.

Los equipos utilizados en el sistema mixto de calefacción y ACS, son idénticos a los utilizados en los sistemas de ACS, siendo la diferencia entre los sistemas mixtos y los de ACS que en los sistemas mixtos podremos introducir como equipos terminales radiadores de agua para abastecer las cargas de calefacción y adicionalmente podremos introducir demandas de calefacción.

La versión actual del programa, no permite recoger cargas de refrigeración pese a que en la actualidad existen bombas de calor aire-agua que permiten abastecer a la instalación de ACS, calefacción y refrigeración. En este caso deberemos caracterizarlo como equipos ideales.

5. Equipos

Los equipos se van repitiendo para distintos sistemas y a cada sistema se le asocia uno o varios equipos. Se identifican con un objeto físico de la instalación, por ejemplo, la caldera. Es el elemento generador de energía y, por lo tanto, requerirá definir el tipo de combustible por el que funciona: electricidad, gas natural, biomasa… así como las curvas de rendimiento.

Como equipos de generación podemos distinguir entre calderas y bombas de calor. Los equipos de generación pueden utilizarse para la producción de agua caliente sanitaria, calefacción y refrigeración.

5.1. Calderas

Definimos como calderas los equipos que mediante el uso de un combustible o electricidad mediante efecto Joule producen calor para ACS, calefacción o ACS y calefacción mediante la combustión. La principal diferencia entre los distintos tipos de calderas son sus curvas de rendimiento, y su funcionamiento a carga parcial. En el HULC, tal y como se muestra en la figura 9 primero introduciremos las propiedades básicas, siendo estas la capacidad total, el rendimiento nominal, el tipo de energía utilizado por la caldera y el multiplicador.

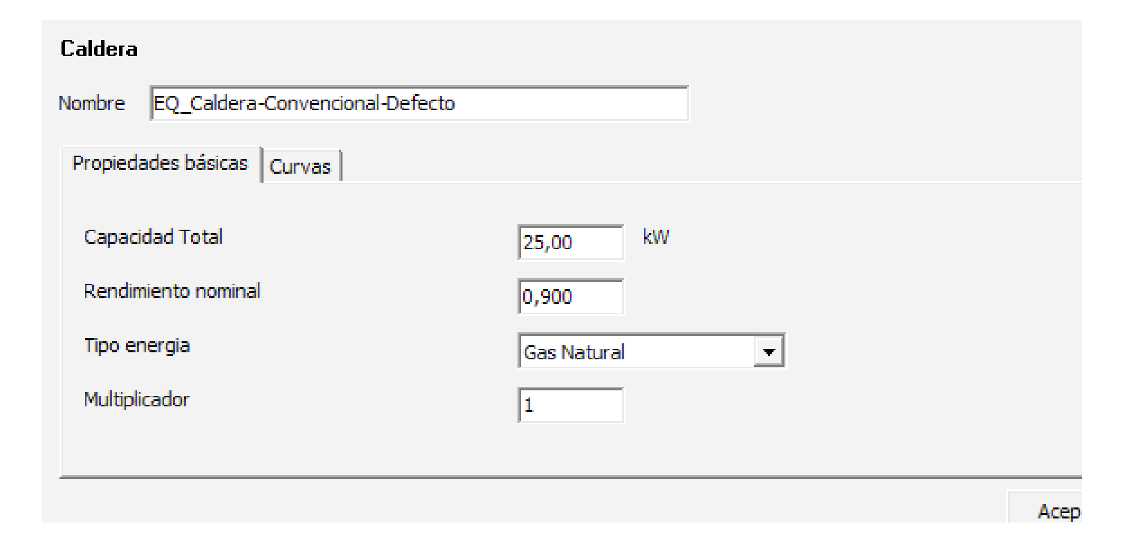


Figura 9. Propiedades básicas de una caldera (Fuente: ejemplo HULC versión 1.0.1528. 1109)

Posteriormente, tal y como se indica en la figura 10, si tenemos seleccionado un modelo de caldera concreto y conocemos las curvas de rendimiento las introduciremos en la pestaña curvas. En caso de no disponer de esta información es mejor adoptar los valores por defecto que nos facilita el programa.

ISBN: 978-84-16546-24-4
DOI: http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia124

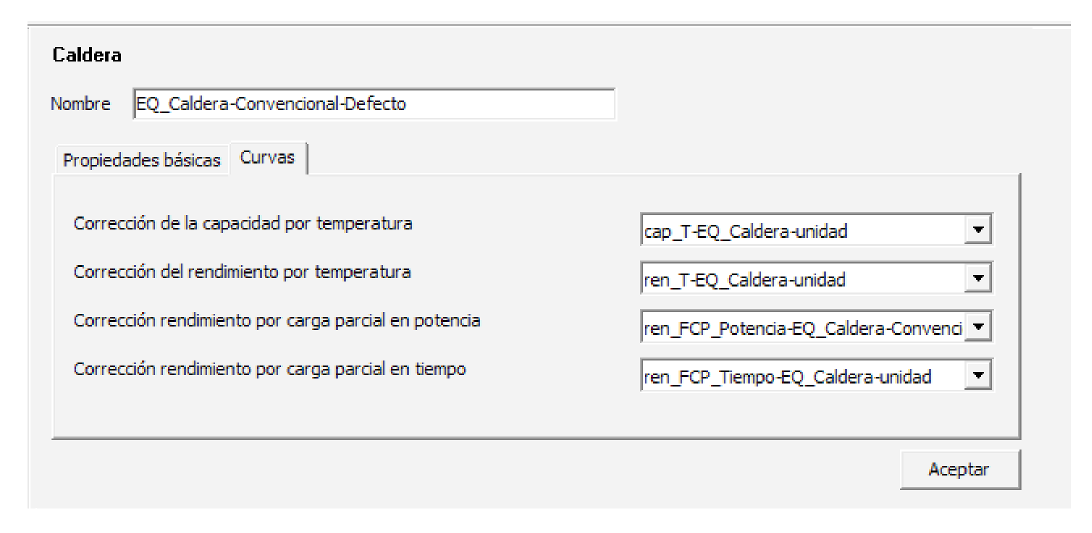


Figura 10. Curvas de funcionamiento de una caldera (Fuente: ejemplo HULC versión 1.0.1528. 1109)

5.2. Curvas de rendimiento

Las curvas de rendimiento que podemos introducir son las siguientes:

Corrección de la capacidad por temperatura: este factor nos indica la variación en la potencia del equipo por la variación en la temperatura de impulsión. La potencia nominal debe ser la suministrada por el equipo en condiciones EUROVENT. En general a mayores temperaturas de impulsión los equipos suministran una potencia menor. Este parámetro nos permite caracterizar la potencia real que será capaz de suministrarnos el equipo.

Corrección de rendimiento por temperatura: este parámetro nos indica la variación del rendimiento en función de la temperatura de impulsión. En general mayores temperaturas de impulsión conllevan menores rendimientos, pues aumentan las pérdidas térmicas de la caldera. En las calderas de condensación este parámetro es especialmente significativo, pues afecta a la condensación de los humos de la caldera y por lo tanto al rendimiento.

Corrección de rendimiento por carga parcial en potencia: este parámetro nos indica la variación del rendimiento en función del factor de carga parcial de la potencia en cada hora, definido este como el cociente entre la potencia suministrada realmente por la caldera y la capacidad o potencia máxima en ese mismo instante de tiempo. Dependiendo del tipo de caldera y modo de funcionamiento este parámetro puede tener una fuerte influencia en el rendimiento, especialmente en calderas de biomasa y condensación. De disponer de la curva real del equipo instalado, debemos introducir estos valores, pues de un fabricante a otro la variación respecto a la curva estándar que nos suministra el HULC puede ser considerable.

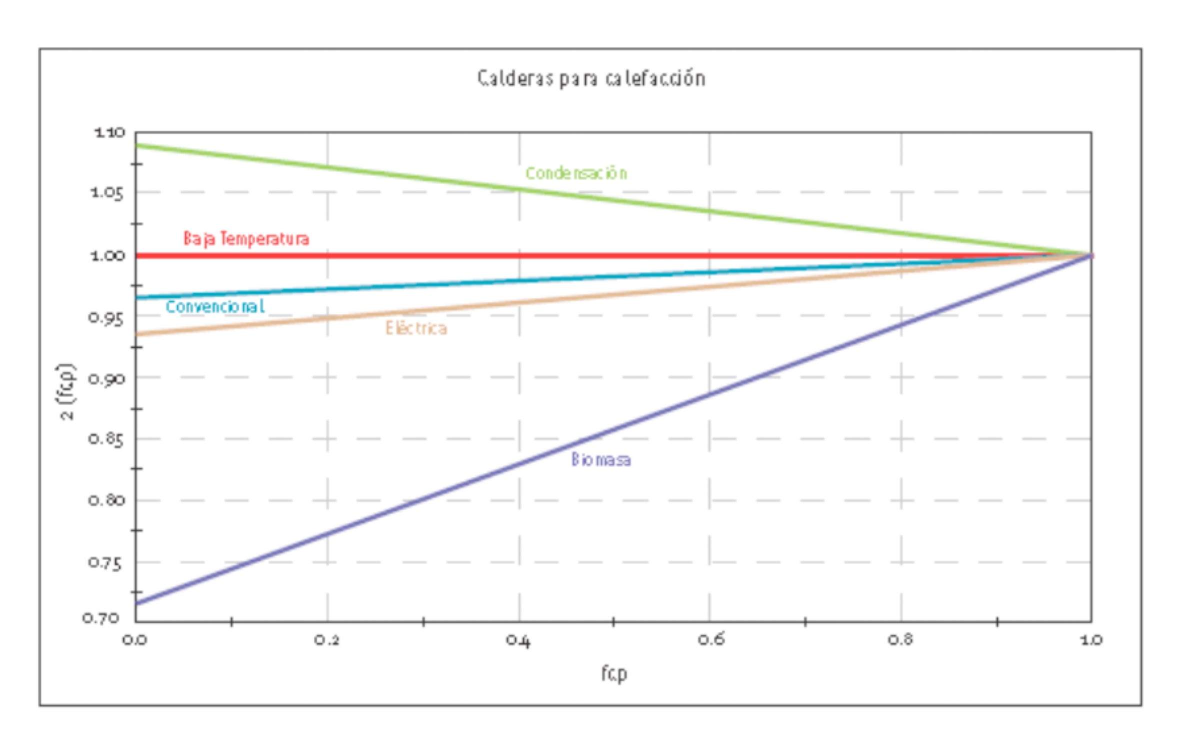


Figura 11. Curvas de rendimiento a carga parcial para distintos tipos de calderas (Fuente: AVEBIOM, Sociedad Española de Valorización Energética de la Biomasa)

Corrección rendimiento por carga parcial en tiempo: este parámetro nos indica la variación del rendimiento en función del factor de carga parcial del tiempo en cada hora, definido este como la fracción de hora en la que el equipo estuvo funcionando. Este factor de corrección está especialmente pensado para tener en cuenta las pérdidas de rendimiento que sufren los equipos con control todo/nada, y puede tener una fuerte influencia sistemas todo/nada en épocas de baja demanda.

Introducción de curvas de funcionamiento: Las curvas de funcionamiento permiten introducir una correlación para reflejar la variación de comportamiento de alguna variable de interés, cuando se modifica alguna de las variables de las que depende. En la mayoría de los casos no será necesario modificar las curvas de funcionamiento de los equipos, y será suficiente con las curvas por defecto que nos suministra la aplicación, pero en el caso de que tengamos datos concretos del equipo a instalar, siempre que estemos seguros de la solvencia de la fuente, podemos introducir variaciones en los valores, generando nuevas curvas de funcionamiento. El HULC tiene incorporado un algoritmo genérico que permite introducir como correlación un polinomio de cualquier orden y para cualquier número de variables independientes, pudiéndose además incluir todas las posibles de coeficientes cruzados. En la figura 12 se muestra un ejemplo de cómo modificar la curva de rendimiento de un equipo con una variable y cuatro términos.

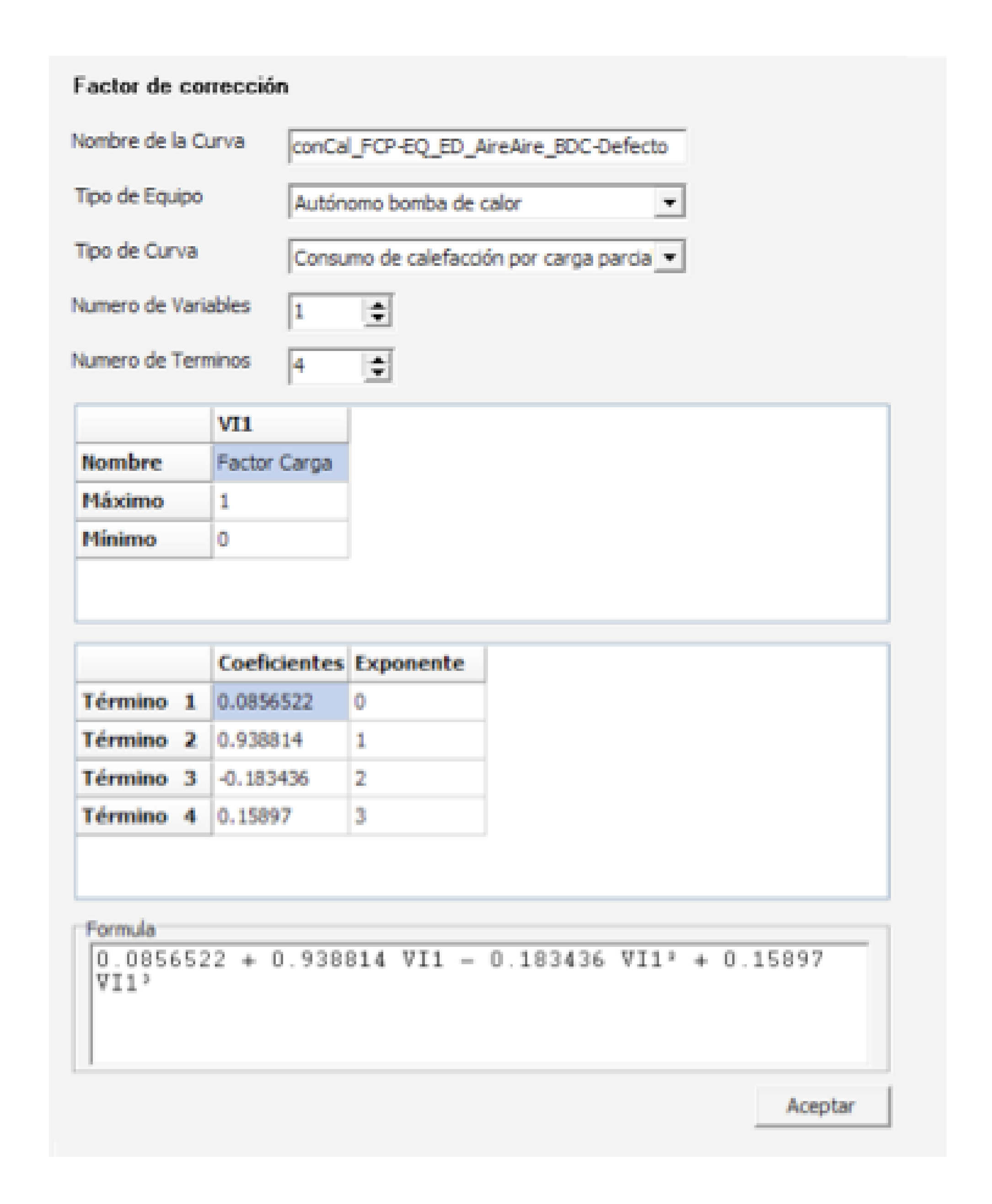


Figura 12. Modificación de curvas de funcionamiento de un equipo (Fuente: ejemplo HULC versión 1.0.1528. 1109)

En el caso que sea necesario se pueden introducir más variables y términos que nos ayuden a caracterizar con exactitud el funcionamiento del equipo. En la figura 13, podemos ver por ejemplo como se caracteriza la capacidad sensible de refrigeración de un equipo autónomo bomba de calor en función de tres variables, la temperatura húmeda de entrada al equipo, la temperatura seca de entrada al equipo y la temperatura seca exterior. En este caso se utilizan 7 términos para la caracterización, obteniéndose el polinomio multivariable de tercer grado que podemos ver en la figura 13.

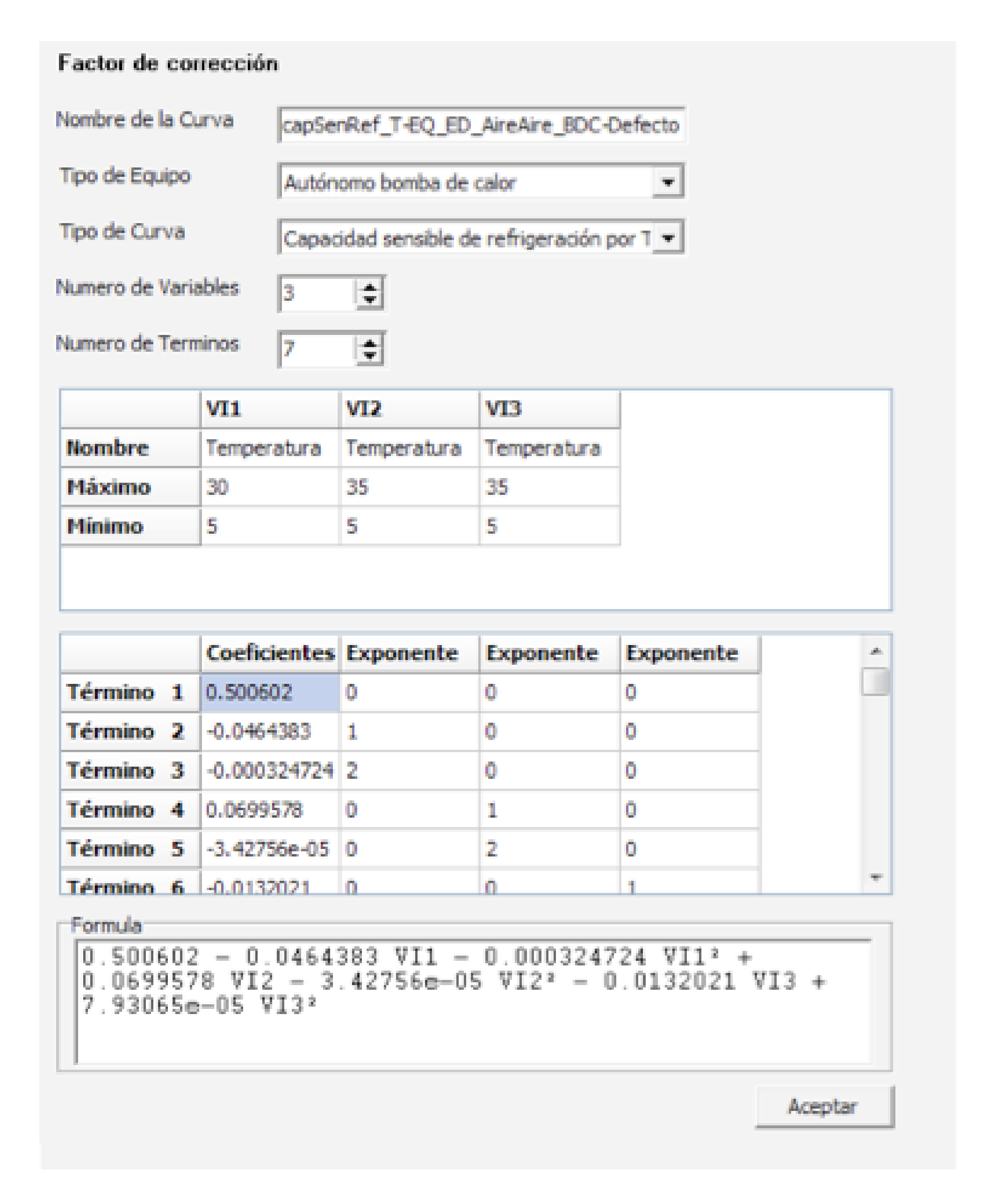


Figura 13. Modificación de curvas de funcionamiento de un equipo con 3 variables y 7 términos (Fuente: ejemplo HULC versión 1.0.1528. 1109)

En primer lugar, para una mejor comprensión de las calderas se va a proceder a realizar distintas clasificaciones de estas.

5.3. Clasificación de las calderas, según el tiro de aire

5.3.1. *Calderas Atmosféricas*

Son calderas que realizan la combustión con el aire de la estancia en donde están ubicadas. En función de cómo realicen la salida de humos de la cámara de com-

bustión pueden ser de tiro natural o de tiro forzado. Las calderas de tiro natural realizan la salida de humos por el tiro causado por la diferencia de densidad entre los gases calientes de la combustión y el aire a condiciones ambientales. Las calderas de tiro forzado incorporan un ventilador de modo que se fuerce la salida de humos. Estas calderas para uso doméstico han restringido su uso, y quedarán totalmente prohibidas a corto plazo. Podemos ver esta clasificación en la figura 14.

5.3.2. *Calderas Estancas*

En estas calderas la admisión de aire y evacuación de los gases se realiza en una cámara cerrada, sin contacto con la estancia en donde está ubicada. Estas calderas en general tienen un rendimiento mayor que las atmosféricas, y la normativa actual está obligando a que en las viviendas se instalen calderas de este tipo, dado que son mucho más seguras desde el punto de vista de los gases de la combustión que las atmosféricas.

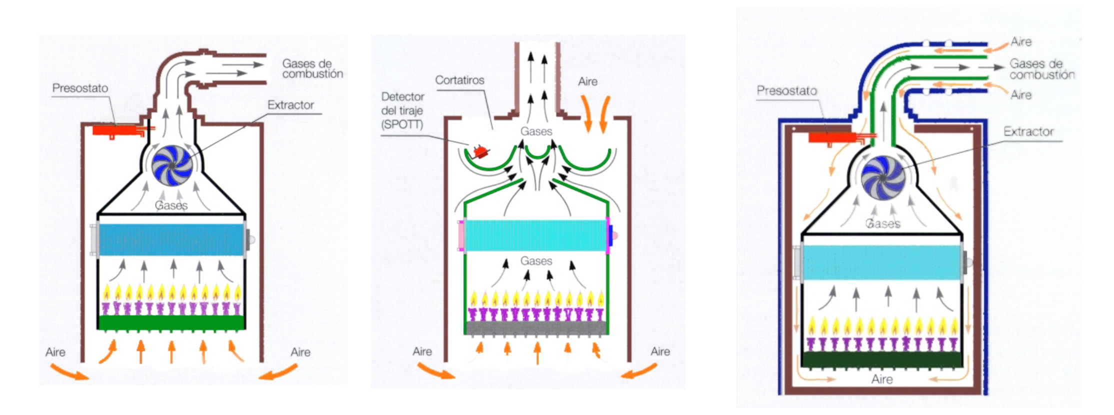


Figura 14. Clasificación de calderas. Atmosféricas y estancas

5.4. Clasificación de las calderas según la instalación

5.4.1. *Calderas murales*

Son las más habituales para calderas de propano, butano o gas natural de baja potencia, con potencias de hasta 50kW, aunque excepcionalmente hay fabricantes que tienen disponible hasta 100kW. Se caracterizan porque se instalan soportándolas de una pared.





Figura 15. Clasificación de calderas. Caldera mural y caldera de pie. (Fuente Vaillant y BaxiRoca)

5.4.2. *Calderas de pie*

Son las más habituales para combustibles sólidos o líquidos y para medianas y grandes potencias en combustibles gaseosos. También son calderas de pie todas las calderas de fundición. Estas calderas se caracterizan porque se instalan directamente apoyadas en el suelo. En la figura 15 podemos ver una caldera mural a la izquierda y una caldera de pie a la derecha.

5.5. Clasificación de las calderas según el combustible

Las calderas pueden funcionar con combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. Según el tipo de combustible podemos clasificarlas como sigue.

5.5.1. *Calderas con combustibles sólidos*

A fecha de hoy son calderas que funcionan con Biomasa, aunque antiguamente también se utilizaba carbón. La biomasa puede estar en forma de pelet, de astilla, de serrín, troncos y briquetas. En este tipo de calderas es importante la gestión del combustible, siendo la más sencilla para los pelets pero complicándose la automatización y necesitándose de costosos sistemas que solo son viables en instalaciones comunitarias o grandes instalaciones para el caso de astillas, briquetas o troncos. Las calderas que utilizan sólidos son siempre de pie, habitualmente de fundición o acero y si deseamos que tengan un rendimiento aceptable serán de tiro forzado.

5.5.2. *Calderas con combustibles líquidos o gas*

Utilizan como combustibles líquidos el Gasóleo C (aunque las industriales también pueden utilizar combustibles más pesados como el fuelóleo). Respecto a combustibles gaseosos, utilizan el gas natural y los gases licuados del petróleo (GLP) principalmente butano y propano. Pueden funcionar con botellas o mediante depósitos de GLP. Excepcionalmente también podemos encontrar calderas que funcionen con biogás.

5.5.3. *Calderas eléctricas*

Utilizan como combustible la electricidad, y producen calor por efecto Joule con una resistencia eléctrica. Pueden ser quipos de producción instantánea o más comúnmente disponen de sistemas de acumulación para disminuir la potencia eléctrica necesaria. El caso más habitual para este combustible son los acumuladores eléctricos para la producción de agua caliente sanitaria, estando menos extendido su uso en calefacción principalmente por presentar una mayor facilidad la instalación de radiadores eléctricos, conocidos como calor azul. Estos equipos no necesitan de ninguna salida de humos.

5.6. Clasificación según el rendimiento térmico

5.6.1. *Calderas convencionales*

Una caldera convencional se caracteriza por necesitar una alta temperatura constante en su interior para evitar condensaciones que la deterioren. Habitualmente, la temperatura de trabajo de estas calderas se regula para funcionar entre 70 ºC y 90 ºC. Pueden ser atmosféricas de tiro natural o de tiro forzado. Estas calderas son de pie, y habitualmente son de fundición o de acero. Son muy habituales para combustibles sólidos y líquidos, aunque también pueden instalarse con combustibles gaseosos. Estas calderas tienen rendimientos en torno al 90 % a potencia nominal, pero este rendimiento baja bastante a cargas parciales, especialmente en equipos con quemadores todo/nada. El problema principal que causa el bajo rendimiento en estas calderas es que necesitan mantenerse calientes para poder suministrar una demanda con rapidez, y por ello incluso sin demanda térmica tienen pérdidas de energía. Adicionalmente, en cada encendido y apagado es necesario realizar un proceso de barrido de la cámara de combustión que nos asegure que no existe una atmósfera explosiva antes del comienzo de la combustión, y este proceso, al enfriar la cámara de combustión mediante aire exterior causa pérdidas energéticas en cada encendido y apagado. Para intentar minimizar este problema a cargas parciales existen quemadores con modulación automática de llama, que disminuyen el número de arranques y paradas de las calderas y regulan el nivel de la llama a las necesidades de energía, ahorrando de este modo energía.

Aunque sean más caras es preferible optar por calderas de condensación o baja temperatura, pues son más eficientes, especialmente trabajando a cargas parciales, o cuando son equipos mixtos de calefacción y ACS y estamos en la estación de verano.

Las ventajas de este tipo de calderas son que tienen una vida útil elevada, de 15 a 20 años, requieren un bajo mantenimiento y son muy robustas y fiables en su funcionamiento.

La principal desventaja de este tipo de calderas es que, en comparación con calderas más eficientes, operan a temperaturas muy elevadas que hace que el rendimiento sea considerablemente menor, obteniéndose por lo tanto consumos de combustible mayores.



Figura 16. Clasificación de calderas. Caldera convencional de gasoil.

5.6.2. *Calderas de baja temperatura*

Son calderas muy similares en su funcionamiento a las convencionales, y surgen de la necesidad de mejorar la eficiencia energética. La principal diferencia de las calderas de baja temperatura respecto a las calderas convencionales es que toleran condensaciones sin deteriorarse, por lo que pueden trabajar a temperaturas menores de entre 35 ºC y 45 ºC sin deteriorarse, siendo su rango de regulación de temperaturas de 35 ºC a 90 ºC. Estas calderas pueden producir ahorros de hasta un 25 % respecto a las calderas convencionales. El principal ahorro obtenido en estas calderas se debe a que la temperatura a la que permanece la caldera está en modo de disposición de servicio, es decir, cuando no tenemos demanda térmica la caldera está conectada y lista para suministrar demanda en cualquier momento. En este tipo de calderas, al mantenerse a temperaturas inferiores a las convencionales, las pérdidas de energía en modo de disposición de servicio disminuyen fuertemente, siendo las arrancadas y paradas efectuadas por la caldera muy inferiores respecto a las convencionales. En el caso de no haber demanda durante varias horas al día, tal y como sucede, por ejemplo, verano en la producción de agua caliente sanitaria, la caldera solo entrará en funcionamiento para suministrar las pérdidas por convección y radiación de la caldera, y cuando la temperatura descendiera por debajo

de 40 ºC, siendo en este caso estas pérdidas considerablemente inferiores a las calderas convencionales.

De este modo al no producirse tantas arrancadas y paradas, eliminamos muchas pérdidas por los barridos efectuados en la cámara de combustión, con lo que se reducen las pérdidas por disposición de servicio, que suponen aproximadamente un 15 % del consumo total de combustible.

Adicionalmente, al poder adaptar la temperatura de impulsión a la demanda, las perdidas energéticas de la instalación también pueden verse reducidas.

Estas calderas pueden ser de pie o murales. Las calderas de pie funcionan con todo tipo de combustibles y habitualmente son atmosféricas de tiro forzado, aunque también se pueden encontrar de tipo estancas y atmosféricas de tiro natural.

Las calderas murales de baja temperatura funcionan solo con combustibles gaseosos, siendo muy habituales en instalaciones domésticas, con potencias máximas de en torno a 50kW. Este tipo de calderas normalmente solo se conectan cuando existe una demanda térmica, no consumiendo energía en estado de disposición de servicio y produciendo ahorros adicionales como consecuencia de ello. Estas calderas murales de baja temperatura pueden ser atmosféricas o estancas.

Como principales ventajas de estas calderas, tenemos un rendimiento nominal de en torno a un 95 %, mejor funcionamiento a cargas parciales que las calderas convencionales, que pueden generar ahorros de en torno al 25 %, posibilidad de regular la temperatura en función de la demanda energética, no se producen daños y corrosiones por la condensación y es una solución intermedia entre las calderas convencionales y las de condensación.

Las desventajas de esta caldera son el mayor coste económico respecto a la caldera convencional.

5.6.3. *Calderas de condensación*

En primer lugar, para entender cómo funcionan las calderas de condensación tenemos que entender el funcionamiento de este tipo de calderas. La condensación es un proceso físico donde se produce el cambio de estado vapor a estado líquido de una sustancia. Este cambio de estado libera una energía de cambio de estado conocida como calor latente o entalpía de cambio de estado. En el proceso de combustión en una caldera tradicional, el combustible se combina con el oxígeno del aire para obtener como productos de la combustión CO_2, vapor de agua y energía. En una caldera de condensación, se pretende enfriar los humos de la combustión por debajo de la temperatura de rocío de estos para de este modo condensar el vapor de agua presente en los gases de la combustión y utilizar el calor latente de cambio de estado del vapor de agua como energía útil, es decir, este calor lo aprovecharemos para calentar el agua que circula por la caldera.

COMBUSTIBLE	PODER CALORÍFICO INFERIOR (Hi)				PODER CALORÍFICO SUPERIOR (Hs)			
	kWh/kg (MJ/kg)	MJ/Nm³	MJ/Stm³	RD 61/2006 MJ/kg	kWh/kg (MJ/kg)	MJ/Nm³	MJ/Stm³	RD 61/2006 MJ/kg
GAS NATURAL	13,05 (46,99)	38,99	36,96		14,43 (51,95)	43,14	40,9	
PROPANO	12,82 (46,15)	94,32	89,41	45,21	13,92 (50,11)	102,47	97,14	49,81
BUTANO	12,69 (45,67)	115,93	109,89	44,79	13,74 (49,47)	125,64	119,1	49,39
GASÓLEO C	11,56 (41,62)				12,23 (44,01)			

Figura 17. PCI y PCS de varios combustibles. (Fuente FERERCON)

Denominamos Poder Calorífico Inferior (PCI) de un combustible a la energía obtenida en una combustión donde el agua obtenida se encuentra en estado vapor. Denominamos Poder Calorífico Superior (PCS) de un combustible a la energía obtenida en una combustión donde el agua obtenida se encuentra en estado líquido. Evidentemente, el poder calorífico superior es la suma del poder calorífico inferior más la entalpía de cambio de estado del agua contenida en los productos de la combustión. La diferencia entre PCI y PCS depende del tipo de combustible, mostramos en la figura 17 el PCI y PCS de varios combustibles. Adicionalmente, la temperatura de rocío de los gases de la combustión depende de la cantidad de oxígeno presente en los gases de la combustión y el tipo de combustible. Mostramos esto en la figura 18. Podemos apreciar en el análisis de estas figuras que las calderas de condensación son mucho más interesantes cuando el combustible es Gas Natural respecto al gasóleo C, pues el Gas Natural presenta temperaturas de rocío de los gases superiores que causan condensaciones con temperaturas de humos más altas y una mayor diferencia entre el PCI y el PCS. El propano presenta valores intermedios entre el Gasóleo C y el Gas Natural.

$(\%O_2)_{seco}$	GASÓLEO-C Tr (ºC)	GAS NATURAL Tr (ºC)	PROPANO Tr (ºC)	$(\%O_2)_{seco}$	GASÓLEO-C Tr (ºC)	GAS NATURAL Tr (ºC)	PROPANO Tr (ºC)
0	48,2	58,5	54,9	8,5	39,1	49,4	45,7
0,5	47,7	58,1	54,4	9,0	38,4	48,7	45,0
1,0	47,3	57,7	54,0	9,5	37,7	47,9	44,2
1,5	46,9	57,2	53,6	10,0	36,9	47,2	43,5
2,0	46,4	56,8	53,1	10,5	36,2	46,3	42,6
2,5	45,9	56,3	52,6	11,0	35,3	45,5	41,8
3,0	45,5	55,8	52,1	11,5	34,5	44,6	40,9
3,5	45,0	55,3	51,6	12,0	33,5	43,6	39,9
4,0	44,5	54,8	51,1	12,5	32,6	42,6	39,0
4,5	43,9	54,3	50,6	13,0	31,6	41,6	37,9
5,0	43,4	53,8	50,1	13,5	30,5	40,4	36,8
5,5	42,9	53,2	49,5	14,0	29,3	39,2	35,6
6,0	42,3	52,6	48,9	14,5	28,1	38,0	34,3
6,5	41,7	52,0	48,3	15,0	26,8	36,6	33,0
7,0	41,1	51,4	47,7	15,5	25,4	35,1	31,5
7,5	40,5	50,8	47,1	16,0	23,8	33,5	29,9
8,0	39,8	50,1	46,4	16,5	22,1	31,7	28,2

Figura 18. Temperatura de rocío de diversos combustibles. (Fuente FERERCON)

Tradicionalmente el rendimiento de las calderas se calcula en base al PCI de un combustible, lo que causa que las calderas de condensación tengan rendimientos asociados superiores al 100 %. Estos rendimientos medidos respecto al PCS del combustible siempre serán inferiores al 100 %, pero al referirlos al PCI del combustible pueden alcanzar valores de en torno a 106-109 % si el combustible es Gas Natural.

Las calderas de condensación pueden ser de pie o murales, son estancas y tienen como principales ventajas el alto rendimiento (en gas natural pueden llegar a un 109 %), pueden producir ahorros de hasta un 30 % respecto a calderas convencionales, pueden ser utilizadas para producción de calefacción y/o ACS, regulan su temperatura en función de la demanda energética, son aptas tanto para sistemas centralizados como para viviendas unifamiliares o colectivas y son las calderas más eficientes que podemos encontrar en el mercado. Como desventajas tienen coste de adquisición mayor, que precisan de la instalación de un desagüe y que para lograr rendimientos óptimos necesitan de sistemas de baja temperatura.

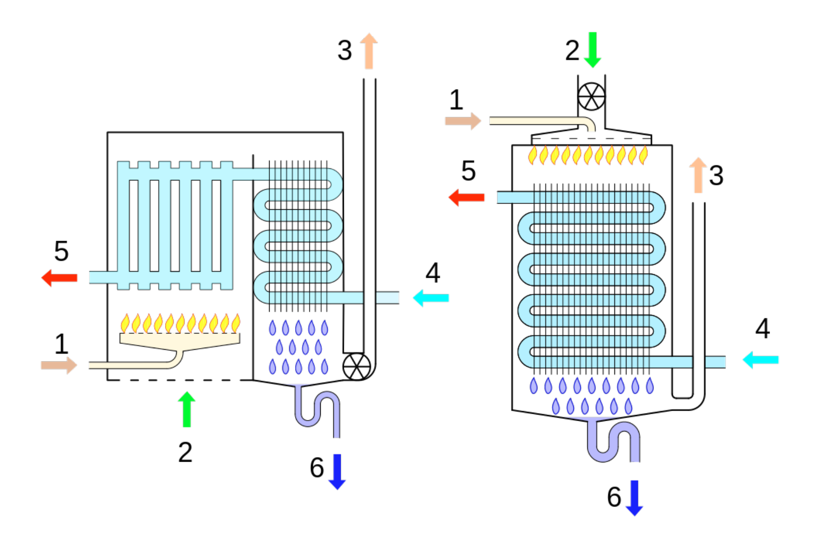


Figura 19. Esquema caldera de condensación. (Fuente Wikypedia Kaboldy)

5.6.4. *Calderas de biomasa*

Las calderas de biomasa funcionan de un modo muy similar a las calderas tradicionales, siendo su principal diferencia que trabajan con combustibles sólidos de origen natural. Los combustibles más utilizados para estas calderas son los pelets, las astillas y la leña. En la figura 20 podemos observas estos combustibles. Adicionalmente también puede utilizarse cáscara de almendra, huesos de aceituna, cascaras de frutos secos etc., pero esto suele ser en procesos industriales. Excepcionalmente, también se denominan calderas de biomasa a calderas que funcionan con biogás, siendo estas calderas muy parecidas a las que funcionan con gas

natural. El biogás es principalmente metano, aunque en menor porcentaje que en el gas natural, y dependiendo de la fuente la composición varía, siendo los otros componentes que presenta monóxido de carbono, y dióxido de carbono en distintos porcentajes y en muchas ocasiones pequeñas cantidades de azufre, que obligan a que la caldera sea resistente a las condensaciones ácidas.

Las calderas de biomasa, necesitan de espacios de almacenamiento considerables para el combustible, que suelen requerir una inversión inicial elevada, especialmente si buscamos un grado de automatización alto. La tecnología de las calderas de biomasa ha evolucionado mucho en los últimos años, mejorando considerablemente su eficiencia, durabilidad y robustez, pero son calderas en general bastante más caras que las convencionales, aunque como el combustible es considerablemente más económico es necesario un buen estudio económico para estudiar con detalle la viabilidad.



Figura 20. Biomasa en pelets y astilla

Las calderas de biomasa que podemos encontrar en el mercado funcionan por floración, alimentación superior, parrillas o mediante carga discontinua.

Como principales ventajas estas calderas tienen un combustible económico, que hace que los costes energéticos sean bajos, y como consecuencia, que el coeficiente de paso entre energía y CO_2 que se considera a la biomasa, al ser un combustible natural, es muy bajo, influyen muy positivamente en la bajada de emisiones de un edificio y, por lo tanto, en su calificación energética. Adicionalmente, la biomasa tiene consideración de energía renovable.

Como principales inconvenientes tienen el coste en la inversión inicial, en la que adicionalmente al coste de la caldera es importante considerar los dispositivos de alimentación y almacenamiento de combustible. En la figura 21 podemos ver una caldera de biomasa con un pequeño silo de alimentación. Otro inconveniente importante es que trabajan con bajo rendimiento a cargas parciales, especialmente durante los procesos de arranque-paro, lo que obliga a instalar depósitos de inercia para disminuir el número de arranque de la instalación. Estos depósitos de inercia aumentan el coste de la instalación, así como el espacio necesario para

la misma. Otro problema a considerar es que producen residuos sólidos (cenizas) que es necesario gestionar. Necesitan de un mantenimiento mayor que las calderas tradicionales, y generan un olor a leña quemada que puede ser un inconveniente en según qué instalaciones. Por último, son considerablemente más ruidosas que las calderas tradicionales, especialmente si se utilizan medios neumáticos para el transporte de pelets.

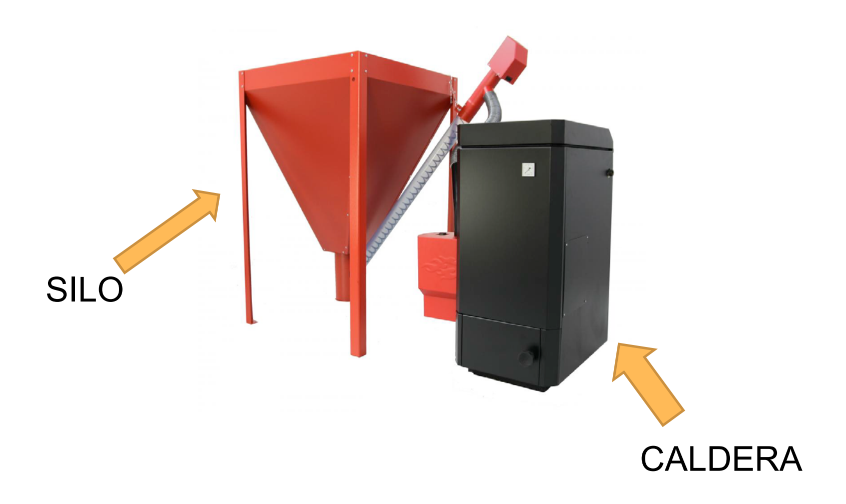


Figura 21. Caldera de Biomasa con Silo de alimentación

5.6.4. *Calderas eléctricas*

Las calderas eléctricas son aquellas que utilizan energía eléctrica en una resistencia donde por efecto Joule transformamos la electricidad en calor. Son calderas de muy fácil construcción, económicas y robustas, y con una alta eficiencia de conversión de energía eléctrica a calor. El principal inconveniente de estas calderas radica en que el combustible que utilizan es electricidad, y que al ser esta transformada en calor por efecto Joule, con 1 julio de energía eléctrica se obtiene 1 julio de energía térmica. Esto causa que, desde el punto de vista de emisiones de CO_2 dado el coeficiente de paso que tenemos entre la energía eléctrica y el CO_2, estas calderas conlleven un alto grado de emisiones. En caso de que el único combustible disponible sea el eléctrico, hay que estudiar con detalle la posibilidad de la instalación de una bomba de calor, ya que aumentará el rendimiento considerablemente.

5.7. Bombas de calor

Las bombas de calor son máquinas térmicas en las cuales mediante la aplicación de un trabajo son capaces de trasegar energía desde un foco frío a un foco caliente. Estas máquinas siguen el esquema mostrado en la figura 22. En este esquema podemos apreciar que una bomba térmica mediante el consumo de un trabajo W, cause que se establezca un flujo de calor saliente Qf del foco frío y una entrada de calor Qc a un foco caliente.

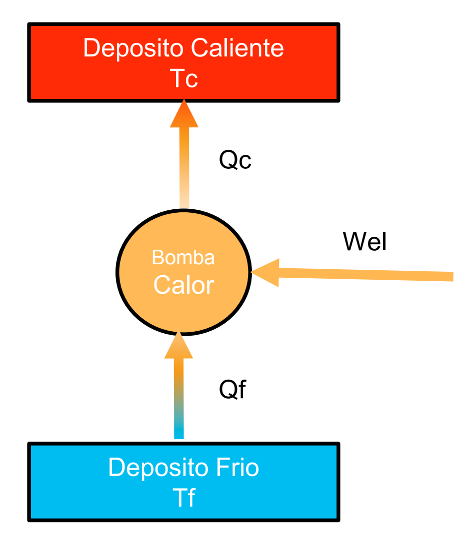


Figura 22. Esquema funcionamiento Bomba de calor

Aplicando el principio de conservación de la energía, sabemos que se cumple la expresión

$$W = Qc - Qf$$

Y definimos el rendimiento de una bomba de calor como:

$$\eta = \text{EER} = \frac{Q_F}{W} \qquad\qquad \eta = \text{COP} = \frac{Q_c}{W}$$

Donde distinguimos dos casos, el funcionamiento en modo refrigeración, y el funcionamiento en modo calor. En el funcionamiento en modo refrigeración, el flujo de calor útil se considera el extraído del foco frío, pues en este modo lo que se intenta conseguir es extraer energía de un foco más frío que el ambiente para funcionar en modo maquina frigorífica. Este es el modo de funcionamiento de una máquina térmica en un equipo de aire acondicionado en modo refrigeración o de cualquier equipo frigorífico como por ejemplo una nevera. En este caso definimos el rendimiento de la máquina frigorífica como EER (Energy Efficiency Ratio) pues consideramos que el flujo de calor «útil» en nuestro proceso es la energía extraída del foco frío. En el caso de que utilicemos nuestra máquina frigorífica para producir calor, la energía «útil» en este caso será Qf, pues será la energía vertida en el foco caliente la que estemos utilizando. En este caso definimos el rendimiento como el cociente entre el flujo de calor que entra en el foco caliente y el trabajo consumido, y lo denominaremos COP (Coefficient of Perfomance).

En una máquina ideal, se puede demostrar que COP = EER + 1, siendo por lo tanto el rendimiento de una máquina frigorífica trabajando entre dos focos siempre mayor en modo calor que en modo refrigeración.

El máximo rendimiento alcanzable por una bomba de calor, es el realizado por un ciclo de CARNOT. Sin entrar en mucho detalle respecto a las explicaciones termodinámicas que lo demuestran, debemos saber que el ciclo de Carnot no es técnicamente realizable, pues es un ciclo de carácter reversible, lo que conlleva entre otras cosas que es un ciclo que ocurre sin ningún tipo de fricción, pero pese a que no es realizable, sí que nos sirve para calcular de forma muy rápida y teórica el rendimiento máximo alcanzable por una bomba de calor. Este rendimiento tiene la siguiente expresión:

$$EER = \frac{Q_f}{W_{absorbido}} = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f} = \frac{T_f}{T_c - T_f}$$

$$COP = \frac{Q_c}{W_{absorbido}} = \frac{Q_c}{Q_c - Q_f} = \frac{T_c}{T_c - T_f}$$

$$COP = EER + 1$$

Tal y como podemos ver en la ecuación anterior, el rendimiento de una bomba de calor es inversamente proporcional a la diferencia de temperatura del foco frío y del foco caliente, es decir, ya sea funcionando como máquina frigorífica o en producción de calor cuanta más diferencia tengamos entre el foco frío y caliente menor será el rendimiento. A modo de ejemplo, podemos ver en la tabla siguiente los rendimientos de una bomba de calor trabajando con un ciclo de Carnot en modo refrigeración y modo calor entre distintos focos

Temperatura foco frio		Temperatura foco caliente		EER	COP
ºC	K	ºC	K		
-20	253,15	25	298,15	5,63	6,63
-20	253,15	50	323,15	3,62	4,62
-20	253,15	70	343,15	2,81	3,81
-20	253,15	90	363,15	2,30	3,30
0	273,15	25	298,15	10,93	11,93
0	273,15	50	323,15	5,46	6,46
0	273,15	70	343,15	3,90	4,90
0	273,15	90	363,15	3,04	4,04
10	283,15	25	298,15	18,88	19,88
10	283,15	50	323,15	7,08	8,08
10	283,15	70	343,15	4,72	5,72
10	283,15	90	363,15	3,54	4,54

Figura 23. Rendimientos de una bomba de calor en un ciclo de Carnot

Tal y como podemos observar en la tabla, los rendimientos aumentan al disminuir la diferencia de temperatura entre los focos. Una bomba de calor funcionando para dar calefacción, establece un flujo de calor entre el foco frío, que es el ambiente exterior llevado a la práctica, y el foco caliente, que es el interior de nuestra casa. La tabla nos indica que cuanta menor sea la temperatura del exterior (foco frío) y más alta sea la temperatura necesaria en el sistema de calefacción (foco caliente) menor será el rendimiento. Esto nos explica la causa de que los sistemas que necesitan una menor temperatura tengan más rendimiento en una bomba de calor, así pues, un sistema de radiadores tradicional que necesita temperaturas de impulsión de 70 a 80 grados centígrados, trabajará con un menor rendimiento que, por ejemplo, una bomba de calor funcionando con un sistema de baja temperatura como un suelo radiante, que funciona con temperaturas de impulsión de entre 30 y 45 grados centígrados. Siguiendo el mismo razonamiento respecto a la temperatura del foco frío (el ambiente exterior) podemos observar que cuando tengamos temperaturas exteriores más frías, nuestro sistema presentará menor rendimiento que cuando tengamos temperaturas exteriores menos frías. Esto causa que las bombas de calor aerotérmicas sean especialmente adecuadas en climas templados como los que tenemos en las zonas mediterráneas, pero disminuyan fuertemente el rendimiento en zonas más frías.

La bomba de calor funcionando en modo refrigeración tiene el mismo comportamiento respecto al rendimiento que cuando funciona en modo calefacción, es decir, cuando estamos intentando climatizar el interior de un recinto, el rendimiento de la maquina será menor conforme la temperatura exterior sea mayor (que el día sea más caluroso) y la temperatura necesaria en el sistema de climatización necesite temperaturas menores. Este comportamiento de las bombas de calor también explica que el rendimiento de un congelador sea menor que el rendimiento de un refrigerador.

Es importante matizar que el ciclo de Carnot no es realizable, y el ciclo que realmente utilizamos es el ciclo de compresión de vapor. Sin entrar en consideraciones termodinámicas que quedan fuera del alcance de esta publicación, el ciclo de compresión de vapor realiza modificaciones al ciclo ideal de Carnot para que este ciclo sea realizable. Adicionalmente, un ciclo real nunca se podrá realizar de forma reversible, lo que causa que el rendimiento de un ciclo de compresión real sea muy inferior al del ciclo de Carnot, lo cual es fácil de entender como consecuencia de la pérdida de idealidad y de que los procesos se realizan con fricción. No obstante, el comportamiento del rendimiento respecto a la diferencia de temperatura entre los focos sigue las mismas directrices, y nos permite entender la variación del rendimiento en función de la temperatura exterior y la temperatura de impulsión. Podemos ver claramente este comportamiento en la figura 24 donde mostramos el rendimiento de una máquina comercial para equipos aire-aguaen función de la temperatura exterior y la temperatura de impulsión.

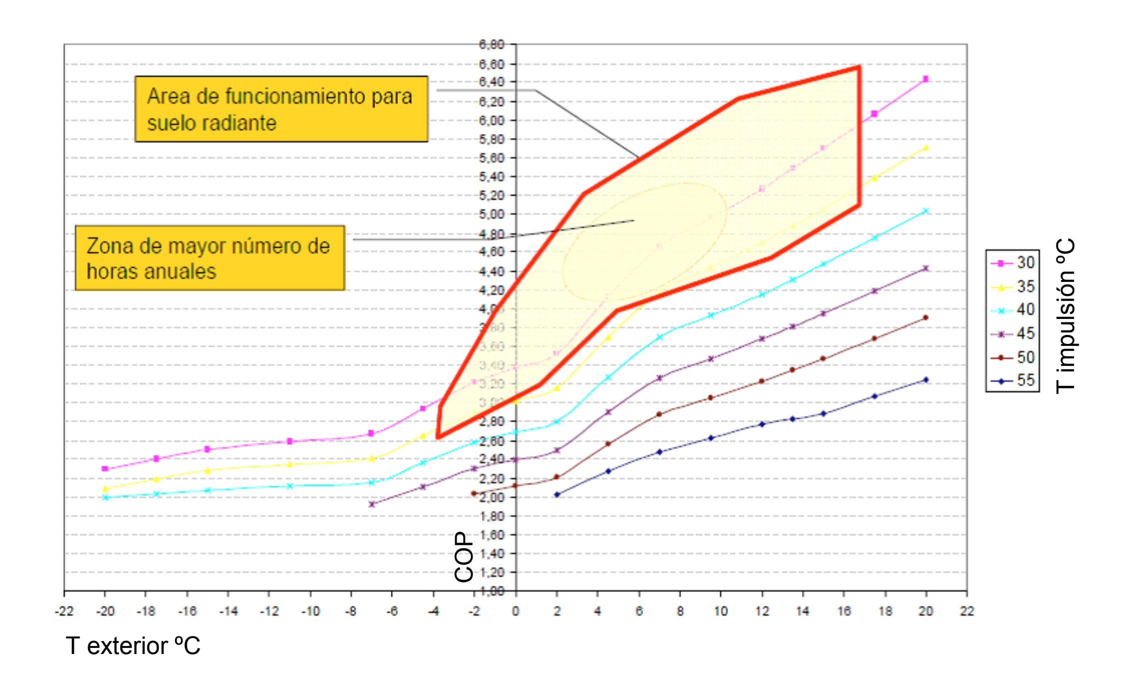


Figura 24. Rendimiento de una Bomba de Calor Aire/Agua (Fuente Daikin Altherma)

En la figura 24 se observa que esta bomba de calor presenta rendimientos muy elevados para climas templados y sistemas de suelo radiante, siendo una solución óptima en estos casos, pues la máquina funcionará con rendimientos de en torno a 5 durante mucho tiempo. Un COP de 5 conlleva que con 1 unidad de energía eléctrica obtengamos 5 unidades de energía térmica, con lo que en estos climas queda claramente justificada la elección de estos sistemas respecto a calderas eléctricas que funcionen por efecto Joule con un rendimiento de 1. Del mismo modo también podemos observar que este modelo de máquina en concreto no es adecuado para trabajar con radiadores a alta temperatura, pues de hecho no puede trabajar con temperaturas de impulsión de 70 ºC. En estos casos existen otros modelos de bomba de calor diseñados para funcionar a altas temperaturas.

Adicionalmente, un concepto importante que debemos entender en los sistemas de climatización es la diferencia entre máquinas de expansión directas y sistemas que funcionan mediante un fluido caloportador, comúnmente denominado fluido secundario. El ciclo de compresión de vapor es el ciclo que utilizamos para trasegar energía desde el foco frío al foco caliente, y para su funcionamiento necesitamos un fluido refrigerante, un compresor, un evaporador y un condensador. Básicamente este ciclo es el mostrado en la figura 25, y básicamente consiste en cuatro pasos que también se pueden observar en el diagrama Presión-Entalpía. El ciclo IDEAL de compresión de vapor se basa en los siguientes pasos:

1. Un vapor recalentado en las condiciones del punto 1, es aspirado por un compresor y comprimido isoentrópicamente hasta las condiciones de vapor recalentado del punto 2. Para realizar la compresión del fluido es necesario el aporte de trabajo a la máquina térmica, representado por W en el esquema de

la figura 22. En el compresor se produce un incremento en la presión y temperatura del fluido, y para ello es necesario el aporte de energía.

2. El vapor recalentado se introduce en las condiciones del punto 2 en un componente denominado condensador para ceder calor al foco caliente (aquí se establece el flujo de calor Qf mostrado en el esquema de la figura 22). Esta cesión de calor sucede sin cambio de presión, es decir, isobáricamente, y se produce un cambio de estado desde vapor saturado en las condiciones del punto 2 a líquido subenfriado en las condiciones del punto 3. Al producirse el cambio de estado, tenemos que el fluido para condensarse cede al exterior la entalpía de cambio de estado de vapor a líquido, produciéndose la cesión de esta energía al foco caliente. El condensador recibe este nombre porque en su interior el fluido refrigerante se condensa, aunque en realidad se producen tres procesos, un desrecalentamiento del vapor recalentado desde el punto 2 hasta alcanzar la saturación, un cambio de estado de vapor a líquido y un subenfriamento de líquido desde saturación hasta alcanzar finalmente el punto 3 que es líquido subenfriado.

3. Expansión isoentálpica producida en la válvula de expansión. En la válvula de expansión el fluido de trabajo sufre una transformación desde el punto 3 líquido subenfriado a alta presión a una mezcla bifásica de líquido y vapor a baja presión en el punto 4. Esta transformación ocurre sin la realización ni el aporte de trabajo y sin intercambio de calor, por lo que la entalpía permanecerá constante, produciéndose únicamente una disminución de la presión del fluido. Las válvulas de expansión son básicamente un pequeño orificio que causan una fuerte pérdida de presión en el fluido de trabajo.

4. El fluido se introduce en un componente denominado evaporador donde de forma isobárica, es decir a presión constante, el fluido se evapora, de modo que se transforma desde una mezcla bifásica líquido vapor en las condiciones del punto 4 a vapor recalentado en las condiciones del punto 1, donde volvemos a comenzar de nuevo el ciclo. Al contrario que en el condensador, en este proceso el fluido cambia de estado desde líquido a vapor, produciéndose por lo tanto la absorción de calor desde el foco frío principalmente por la absorción del calor latente o entalpía de cambio de estado necesaria para evaporar el fluido.

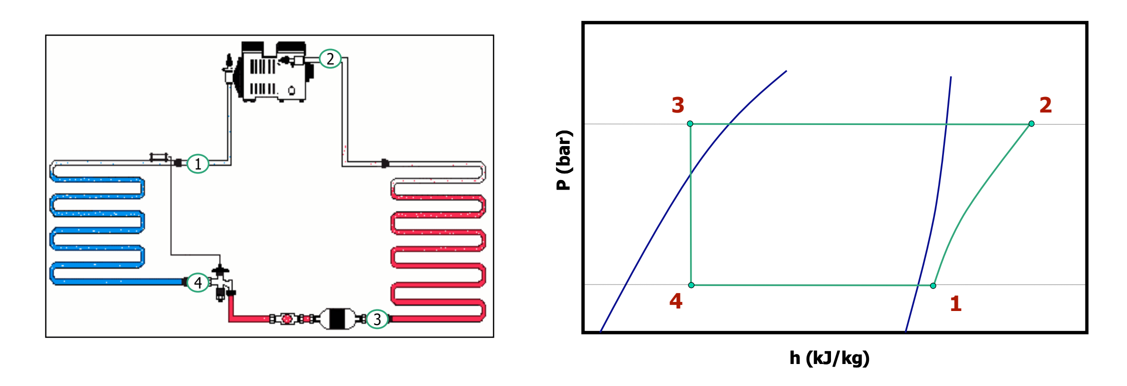


Figura 25. Funcionamiento de un ciclo de compresión de vapor

El fluido de trabajo que utilizamos para poder realizar el ciclo de compresión de vapor, es decir para poder operar la máquina térmica que hemos denominado Bomba de Calor se denomina REFRIGERANTE. Este fluido es utilizado en la transmisión del calor que, en un sistema frigorífico, absorbe calor a baja temperaturas y presión, cediéndolo a temperatura y presión más elevada tal y como hemos visto en los puntos anteriores. Este proceso tiene lugar, con cambios de estado y variaciones en el volumen específico del fluido.

Ahora bien, en los equipos que utilizamos en las instalaciones podemos operar con máquinas frigoríficas que funcionen en expansión directa o mediante un fluido caloportador. En la figura 26 vemos los dos casos, un sistema de expansión directa es aquel en el que introducimos el refrigerante en el local o medio donde enfriamos, o si está funcionando como máquina frigorífica calentamos. En este caso, decimos que estamos utilizando el fluido frigorígeno para enfriar o calentar el medio a tratar, pues es el fluido que genera (frigorígeno deriva de geno) en el ciclo de compresión el intercambio de calor, siendo este fluido el que hemos definido anteriormente como refrigerante.

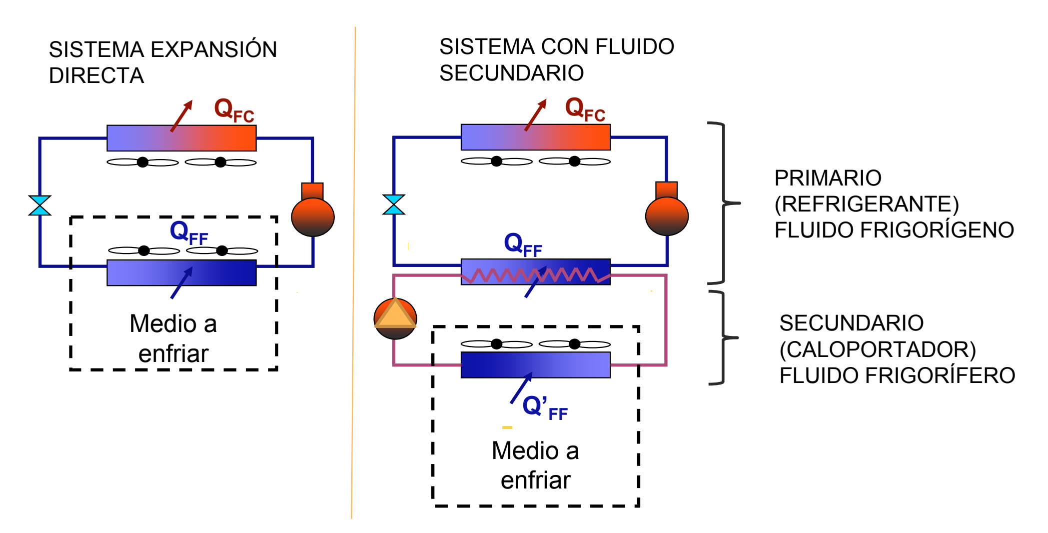


Figura 26. Funcionamiento de un ciclo de expansión directa y mediante de fluido caloportador

En muchas ocasiones, tenemos instalaciones donde por diversas circunstancias no es posible introducir el refrigerante en el local o medio a enfriar. En estas ocasiones trabajamos con un fluido secundario, donde tal y como se observa en la figura 26 tenemos que nuestra bomba de calor no enfría el medio directamente, sino que lo hace a través de un fluido secundario, que habitualmente es el agua o el agua glicolada. En este caso tenemos dos circuitos hidráulicos, un circuito donde tenemos la producción de frío propiamente dicha mediante un ciclo de compresión de vapor y un circuito secundario donde transportamos la energía al local o medio a enfriar. Es importante observar que el fluido secundario no presenta cambio de estado, es decir, cuando utilizamos agua o agua glicolada esta se mantiene durante todo el circuito en estado líquido, al contrario de lo que sucede en el circuito

primario, donde tal y como hemos explicado anteriormente el refrigerante tiene cambios de estado de líquido a vapor condensándose y evaporándose en distintos puntos del ciclo. Así pues, mientras que en el ciclo de compresión de vapor el refrigerante utiliza tanto el calor sensible como el latente y tiene variaciones en el volumen específico del refrigerante, en el caso del fluido secundario no se producen variaciones en el volumen especifico del fluido, la energía se transporta utilizando el calor sensible, es decir exclusivamente con las variaciones de temperatura del agua o agua glicolada.

Cuando operamos con una máquina frigorífica donde tanto el foco frío como el foco caliente intercambian energía con el ambiente con un fluido caloportador, tenemos una máquina como la mostrada en la figura 27.

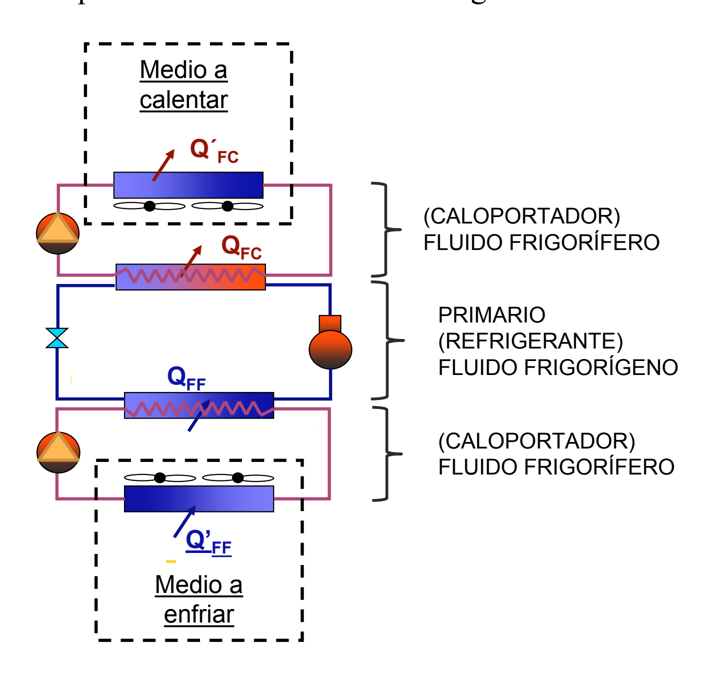


Figura 27. Funcionamiento de un ciclo de compresión de vapor

Esta máquina es la utilizada en instalaciones geotérmicas, donde un foco es el terreno y el otro el interior de nuestro edificio.

Cuando el intercambio de calor se produce con el aire del ambiente exterior hablamos de energía aerotérmica.

Por último, un concepto importante es el funcionamiento en modo frío calefacción o modo refrigeración de las bombas de calor. Esto se produce mediante un mecanismo que intercambia internamente el foco frío y el foco caliente de la máquina térmica, de modo que el intercambiador que actúa como evaporador se transforma en condensador y viceversa. Esto permite que podamos utilizar indistintamente nuestros equipos de climatización como equipos de refrigeración o calefacción, y habitualmente se realiza con un elemento denominado válvula de 4 vías.

5.7.1. *Bombas de calor Inverter*

Un concepto que escuchamos continuamente en los equipos de aire acondicionado es si son o no son INVERTER. Decimos que un equipo de aire acondicionado es inverter cuando realiza la regulación de potencia frigorífica en el evaporador y condensador variando la masa de refrigerante que circula. Esto lo realiza mediante la válvula de expansión electrónica incorporada en el equipo y mediante el aumento o disminución de las revoluciones del compresor para regular el caudal volumétrico del compresor, variando consiguientemente el caudal másico de refrigerante de nuestro equipo.

Actualmente, prácticamente todos los equipos domésticos de climatización son inverter, dado que la normativa actual es muy exigente en el modo de trabajo a cargas parciales, y el único modo de lograrlo en estos equipos de forma económica es la introducción de la variación de las revoluciones del compresor. Las ventajas de los sistemas inverter son el aumento del confort como consecuencia de que mantiene menor fluctuación de temperatura respecto a la temperatura de consigna y el aumento del rendimiento cuando trabaja a cargas parciales, como consecuencia de la mejor regulación que realizamos en la máquina. El principal inconveniente de este sistema es que encarece el equipo, aunque con la evolución tecnológica sufrida en los últimos años esta diferencia se ha reducido considerablemente.

5.7.2. *Equipo autónomo solo frío*

Se trata de una máquina frigorífica funcionando mediante un ciclo de compresión de vapor donde solo podemos utilizar el modo refrigeración, es decir, el interior de nuestro local o ambiente a climatizar siempre será el foco frío, y la potencia frigorífica de la máquina será QF. En este caso el rendimiento de la máquina lo denominaremos EER, y cumplirá lo explicado en los puntos anteriores. Estos equipos son las máquinas de aire acondicionado, ya sean compactas o partidas. En el caso de máquinas compactas, tendremos una única máquina donde tendremos el evaporador y el condensador. Mostramos una maquina compacta en la figura 28. En el caso de partidas o tipo «Split» unimos la unidad interior y exterior con tuberías frigoríficas. Podemos ver un conjunto de máquinas partidas en la figura 29.



Figura 28. Máquina compacta. (Fuente CIATESA)

ISBN: 978-84-16546-24-4
DOI: http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia124

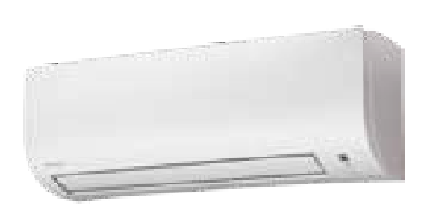




Figura 29. Máquina partida. (Fuente tarifa Daikin)

Estos equipos autónomos pueden funcionar con energía aerotérmica, geotérmica, con agua de mar, agua de pozo agua de torre etc. En el caso de edificación, lo más habitual es que funcionen con energía aerotérmica, es decir con intercambiadores en el exterior refrigerante-aire, aunque en algunas ocasiones también se encuentran instalaciones geotérmicas, con intercambiadores al terreno.

5.7.3. *Equipo autónomo bomba de calor*

Son equipos que intercambian el evaporador y el condensador internamente para intercambiar el foco exterior y el foco interior. Habitualmente este intercambio se realiza mediante un dispositivo denominado válvula de 4 vías. En la figura 30 mostramos válvulas de 4 vías de distintos tamaños.

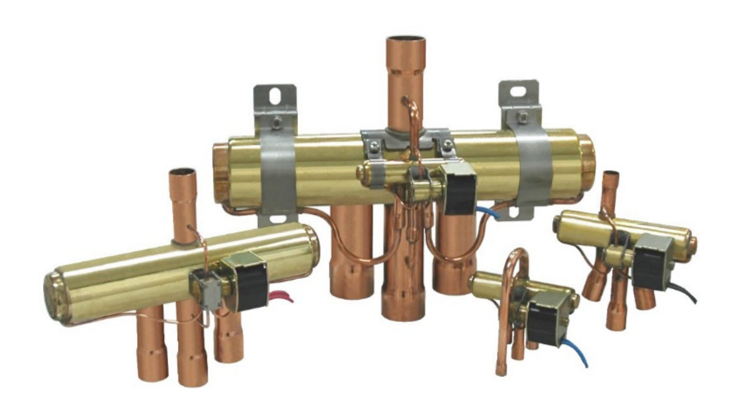


Figura 30. Válvula de 4 vías. (Fuente: Danfoss)

Para invertir el ciclo, la válvula de 4 vías intercambia internamente los flujos de refrigerante, siguiendo el esquema mostrado en la figura 31, donde la bomba de calor reversible al realizar el cambio de modo frío a modo calor, transforma el evaporador en condensador y viceversa.

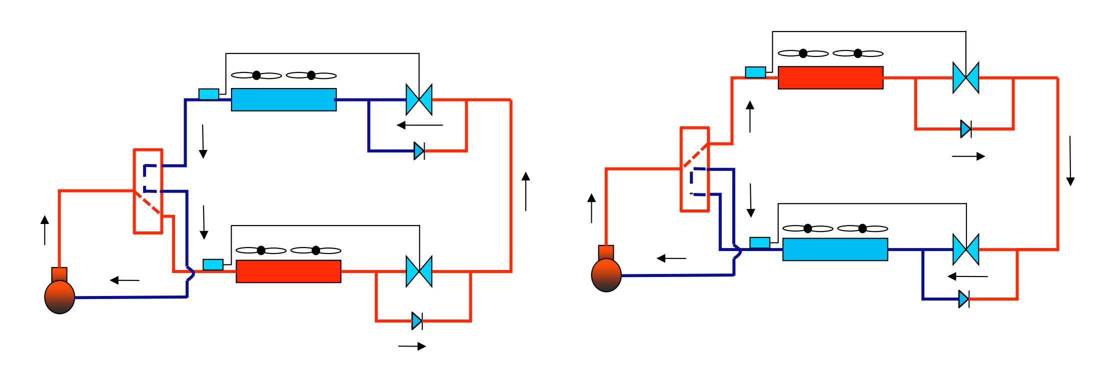


Figura 31. Funcionamiento de la inversión de ciclo en una bomba de calor

La única diferencia respecto a los equipos solo frío es la instalación del dispositivo de intercambio entre condensador y evaporador, siendo el resto de los aspectos igual que los descritos para los equipos solo frío.

5.7.4. *Equipos* multisplit *autónomo solo frío*

Los equipos *multisplit* son equipos ampliamente utilizados en pequeñas potencias, pudiendo instalarse de 2 a 5 unidades interiores, aunque excepcionalmente hay fabricantes que admiten hasta 9 unidades interiores. Son equipos de compresión de vapor que habitualmente pueden funcionar en modo calefacción y refrigeración.

El funcionamiento de un sistema *multisplit* se fundamente en que tenemos una unidad exterior con tantas tomas de conexiones frigoríficas como unidades interiores tenemos instaladas, con lo que desde cada unidad exterior tenemos dos tuberías que la conectan a la unidad interior.

Las unidades interiores pueden ser de conductos, de tipo cassette, de pared, consolas, de techo etc., siendo este tipo de máquinas de expansión directa, circulando por el interior de las unidades interiores refrigerante.

La principal ventaja de estas máquinas es que permiten controles independientes de temperatura y funcionamiento en cada una de las unidades interiores. Adicionalmente tienen como ventaja su facilidad de montaje y su bajo precio. Como principal inconveniente tenemos que todas las unidades interiores deben funcionar simultáneamente en calefacción o refrigeración, siendo esto un problema en algunas instalaciones, dado que no podemos tener unas estancias en refrigeración y otras en calefacción, aunque las cargas así lo precisen. Otro problema importante y muy limitante en algunas instalaciones es que la suma de las longitudes de las tuberías de conexión de refrigerante está limitada desde unos 30m en unidades 2x1 a unos 75 m en unidades 5x1, quedando limitada la longitud máxima por unidad interior a 20-25 m como máximo. Adicionalmente el funcionamiento a cargas parciales no tiene un rendimiento tan elevado como las soluciones 1x1.

Esto limita su uso a aquellas instalaciones donde la distancia entre unidades interiores y exteriores no sea excesiva.

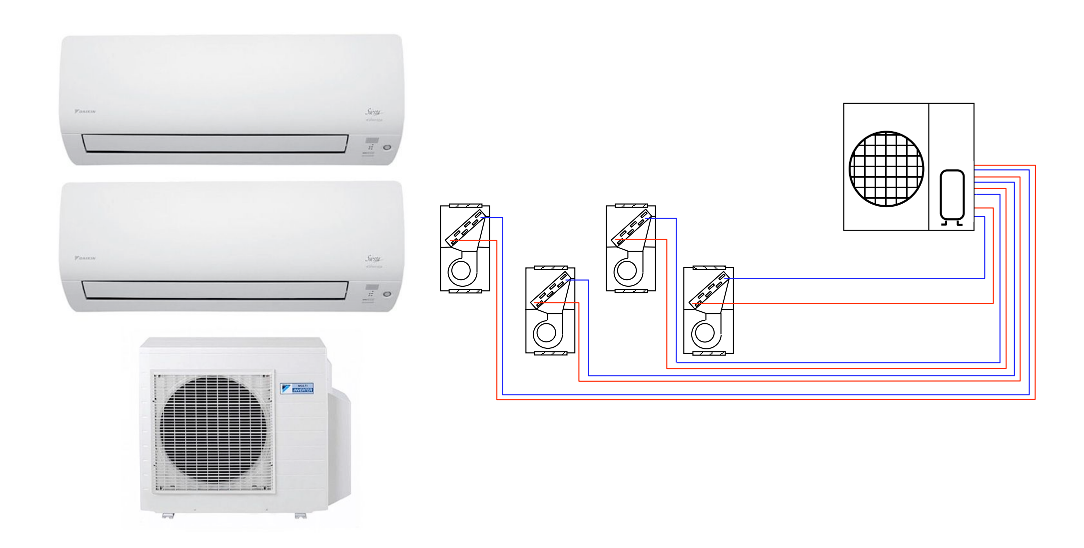


Figura 32. Sistemas *multisplit*

5.7.5. *Equipos* VRV

Los equipos VRV son equipos adecuados para medianas potencias, siendo su uso más habitual en comercios, oficinas y grandes viviendas unifamiliares. La principal diferencia respecto a los equipos *multisplit* radica en que la unidad exterior solo tiene una salida para un circuito frigorífico, funcionando tal y como se muestra en la figura 33. En este caso las derivaciones se realizan mediante elementos como los mostrados en la figura 34 reduciendo de este modo la longitud máxima de las tuberías. Estas máquinas son por lo tanto capaces de tolerar longitudes de tuberías mucho más elevadas, y substituyen a los equipos *multisplit* cuando las distancias de tuberías son mayores.

Los equipos VRV pueden trabajar con muchas unidades interiores, pudiendo tener agrupaciones dependiendo del fabricante de más de 50 unidades interiores, aunque para cumplir el reglamento de instalaciones frigoríficas el número de unidades interiores se ve limitado en la práctica por la acumulación máxima de refrigerante que se puede alcanzar en un local en caso de fuga de refrigerante. En el Reglamento de Seguridad de Instalaciones Frigoríficas (RSIF) aprobado por el Real Decreto 138/2011 de 4 de febrero, recoge en su instrucción IF-04 en el apéndice 1 las tablas con concentraciones máximas permitidas en función del tipo de refrigerante. Para calcular la carga de refrigerante máxima en un local, dividiremos la carga de refrigerante del sistema entre el volumen del local. Cuanto mayor es la potencia del sistema y la longitud de tuberías mayor es la carga de refrigerante del equipo, lo que causa que en instalaciones donde tenemos locales pequeños como por ejemplo

en las habitaciones de hotel o los despachos de las oficinas, la carga máxima del equipo quede bastante limitada, limitándose por lo tanto el tamaño máximo del sistema. Esto provoca llevado a la práctica a que por ejemplo los hoteles, tengan limitado el número de unidades interiores por circuito frigorífico a entre 8 y 15 unidades interiores, por lo que en lugar de tener un único sistema VRV para el hotel, tenemos que dividirlo en varios equipos VRV con circuitos frigoríficos independientes. Esto presenta como principal inconveniente que la potencia instalada en los equipos aumenta, pues no se pueden aplicar coeficientes de simultaneidad tan altos como podemos aplicar en el caso de agrupaciones mayores.

Otro inconveniente importante que tienen los grandes sistemas VRV es la dificultad de encontrar y reparar las pequeñas fugas de refrigerante, dado que tenemos grandes instalaciones ramificadas y con conducciones poco accesibles.

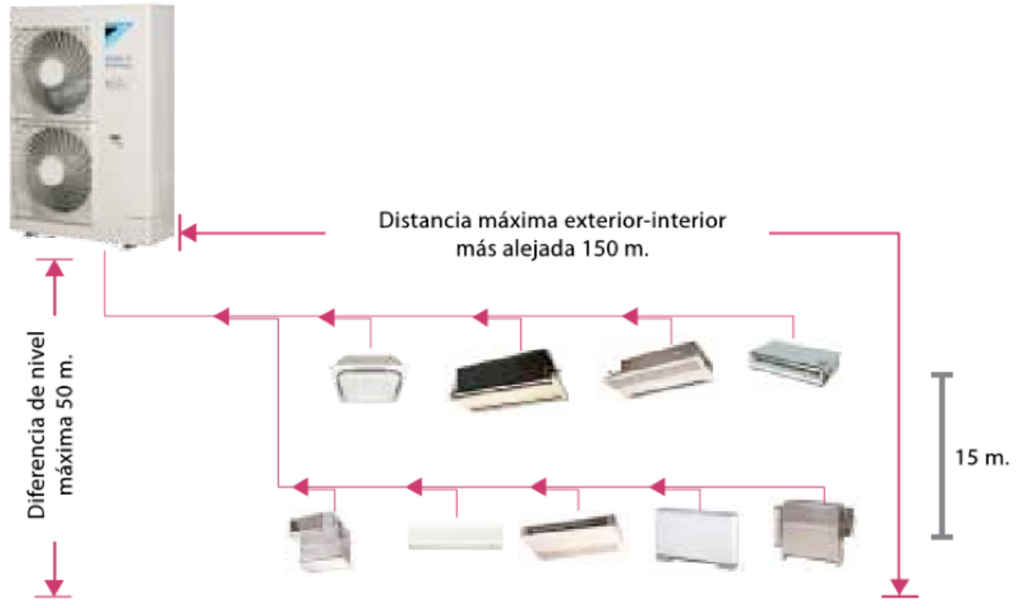


Figura 33. Sistemas VRV. (Fuente Daikin)

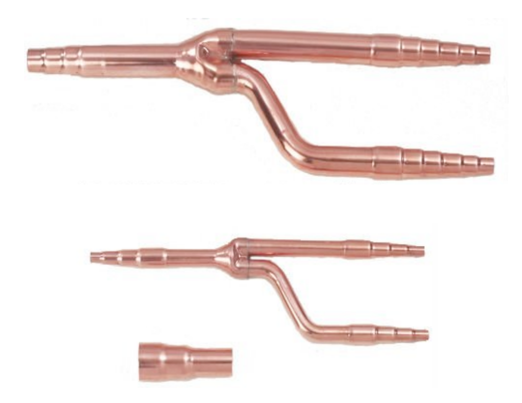


Figura 34. Sistemas VRV. Derivaciones

En algunos sistemas VRV, existe la posibilidad de instalar sistemas con recuperación de energía. Mostramos el funcionamiento de este sistema en la figura 35, donde podemos observar el funcionamiento en solo refrigeración, solo calefacción y con recuperación de energía. En el modo de recuperación de energía el rendimiento aumenta considerablemente, pues en lugar de realizar el intercambio de energía con el foco exterior, esta energía se utiliza para refrigerar o calefactar otros locales, teniendo por lo tanto un aumento de rendimiento muy importante. El inconveniente de estos sistemas es el aumento de coste económico que suponen, por lo que debemos estudiar con detalle el ahorro energético obtenido, pues no en todas las instalaciones tiene un periodo de amortización razonable.

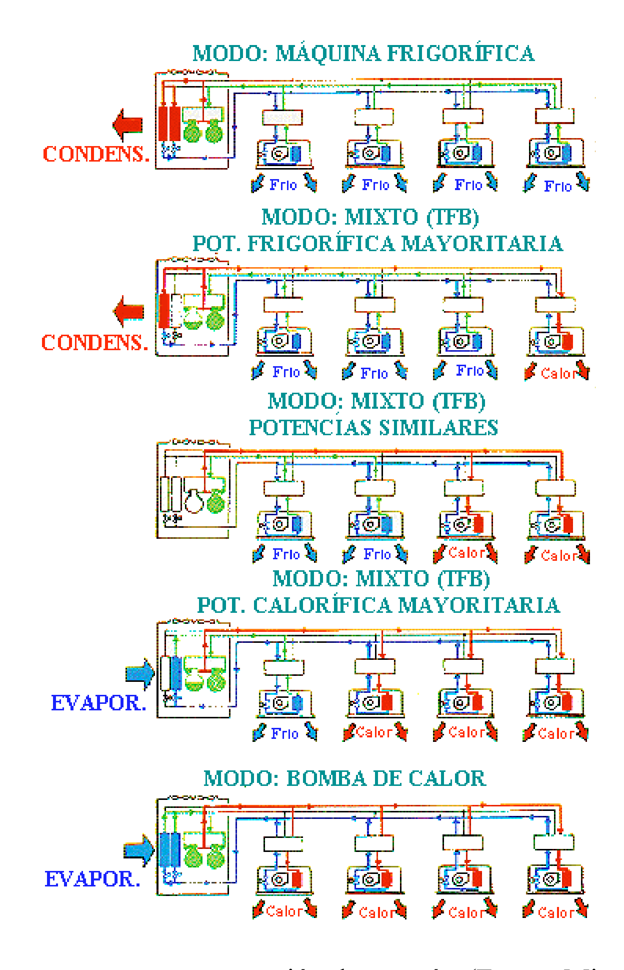


Figura 35. Sistemas VRV con recuperación de energía. (Fuente Mitsubishi Electric)

5.7.6. Fancoils

Definimos un *fancoil* como un equipo dotado de un intercambiador agua aire en el interior del cual tenemos como fluido caloportador agua o agua glicolada y un ventilador que impulsa el aire al local a climatizar. *Fancoil* corresponde a las palabras inglesas Fan = Ventilador y Coil = Bobina//Bateria, siendo su traducción al castellano ventiloconvector, y pudiendo mostrar distintas configuraciones. En la figura 36, mostramos las más habituales, siendo estas de izquierda a derecha un

equipo para conductos, una unidad de tipo consola suelo, un equipo de tipo cassette, equipo de pared y equipo de techo.



Figura 36. Distintos tipos de *Fancoils*. (Fuente Daikin)

Este tipo de sistemas tienen su principio de funcionamiento en un equipo de expansión directa, denominado enfriadora que enfría o calienta el fluido caloportador o fluido secundario y lo distribuye por el interior del local. Hemos mostrado el principio de funcionamiento en la figura 26.

Este tipo de equipos no tiene ninguna limitación de longitud de tuberías o de carga de refrigerante en los locales, y no tiene limitado el número de equipos que podemos conectar a un mismo circuito hidráulico. En este caso el fluido que tenemos en el interior de los equipos y por la instalación es agua, por lo que las fugas son fácilmente reparables y localizables, pero también tienen el inconveniente los daños que puede causar una fuga de agua en nuestras instalaciones.

Respecto al rendimiento de estas instalaciones, si el diseño se ha realizado correctamente es muy elevado, pues funcionan muy bien a cargas parciales. Este tipo de sistemas permiten introducir coeficientes de simultaneidad elevados, por lo que posibilitan tener mucha más potencia instalada en unidades interiores (*fancoils* y climatizadoras) y unidades exteriores (enfriadoras y calderas). Los coeficientes de simultaneidad son muy altos en instalaciones con orientaciones muy distintas, como por ejemplo una fachada este y una oeste y que presentan cargas diversas como por ejemplo un hotel con las cargas de habitaciones y salas de banquetes.

Las principales ventajas de este sistema son que únicamente tienen refrigerante dentro de las enfriadoras, bajando considerablemente la carga de refrigerante necesaria en la instalación, es mucho más fácil controlar las fugas de refrigerante en la enfriadora y de agua en la instalación, permiten coeficientes de simultaneidad muy elevados, tienen un muy buen funcionamiento a cargas parciales, permiten una integración fácil y robusta en el sistema de control del edificio, presentan modularidad y facilidad de actualización tecnológica siendo independientes entre ellos todos los elementos y permitiéndonos mezclar sin problemas distintas marcas comerciales y sistemas y por último, no tienen limitado el número de equipos ni la longitud de tuberías por circuito hidráulico. Este tipo de sistemas es el más adecuado para grandes instalaciones, pudiendo ser utilizado en medianas y pequeñas instalaciones, aunque en este caso suponen una inversión económica superior a la de otros sistemas.

Como inconvenientes en este tipo de sistemas, el principal es que es más complicado de diseñar y montar correctamente, y es muy común cometer errores de equilibrado hidráulico que causen sobrecaudales y subcaudales en algunos elementos terminales. En caso de un diseño incorrecto de la red hidráulica se incurrirá en pérdidas de eficiencia importantes y problemas de confort en la instalación. Otro problema importante es los problemas que causa el agua en una fuga del circuito hidráulico, pudiendo causar daños cuantiosos. En grandes instalaciones esta solución habitualmente es económicamente más competitiva, pero en medianas y pequeñas instalaciones es más costosa respecto a otras soluciones.

6. Equipo ideal

Un equipo ideal no es un equipo propiamente dicho. En HULC, podemos introducir un equipo ideal cuando nuestro equipo no se adapte a los equipos que presenta por defecto el software y nosotros conozcamos el rendimiento anual que va a presentar este. Podemos ver en la figura 37 la pantalla para introducir los datos de un equipo ideal. En este caso solo tenemos que introducir la fuente energética del equipo y el rendimiento que presenta. El HULC mantendrá el rendimiento constante independientemente de las condiciones exteriores y de si trabaja o no a cargas parciales. Esta solución solo es adecuada si no conocemos los rendimientos estacionales de los equipos.

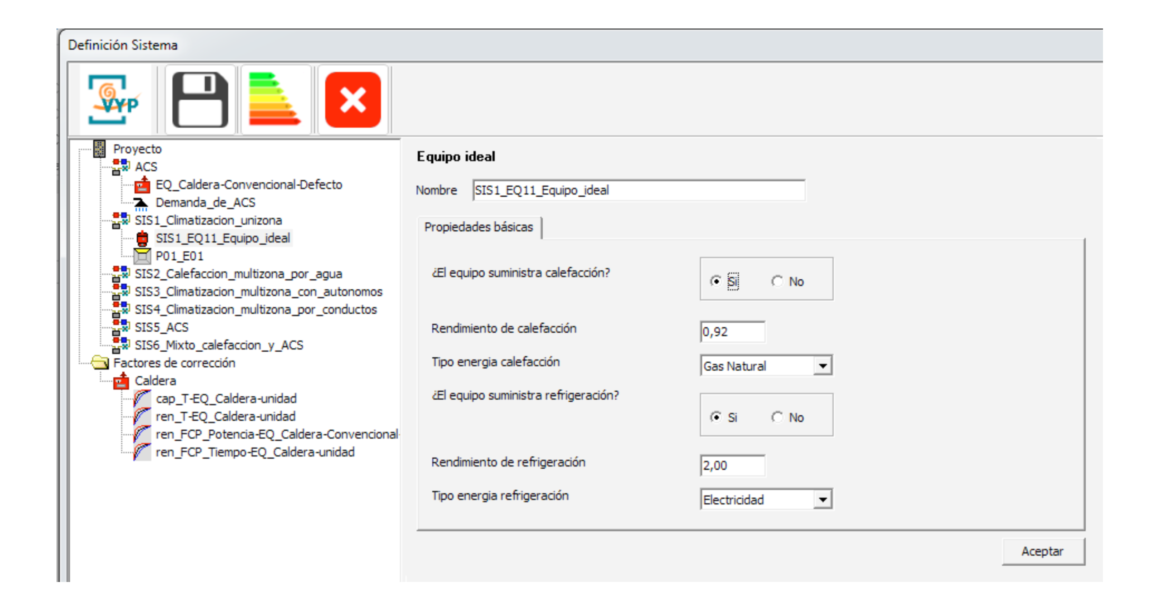


Figura 37. Equipo IDEAL en HULC (Fuente: ejemplo HULC versión 1.0.1528. 1109)

7. Instalaciones con CE3X

El programa CE3X, así como el CE3, permiten su aplicación, mediante la opción simplificada, a edificios existentes. Su manejo es más sencillo y lo podremos emplear en muchos casos en rehabilitación.

En este apartado se describirá brevemente el aspecto del software CE3X en lo que se refiere a la introducción de las instalaciones (versión 2.1).

En este caso, hay una pestaña específica para rellenar los datos de las instalaciones. Cada uno de los equipos que podemos elegir requiere una información específica. Se organiza en las siguientes opciones, tal y como ilustra la figura 38:

- Equipo de ACS
- Equipo de solo calefacción
- Equipo de solo refrigeración
- Equipo de calefacción y refrigeración
- Equipo mixto de calefacción y ACS
- Equipo mixto de calefacción, refrigeración y ACS.

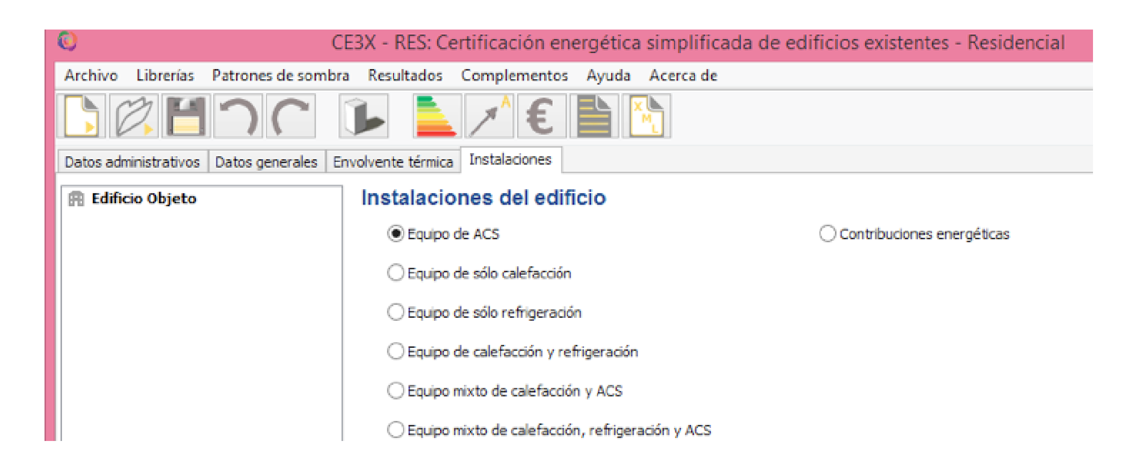


Figura 38. Imagen delas opciones para instalaciones en residencial (Fuente: CE3X, versión 2.1)

Las opciones de instalaciones son más cuando tenemos que simular un uso terciario, tal y como muestra la figura 10, donde se añaden a las anteriores, las siguientes:

- Equipos de iluminación
- Equipos de aire primario
- Ventiladores
- Equipos de bombeo
- Torres de refrigeración

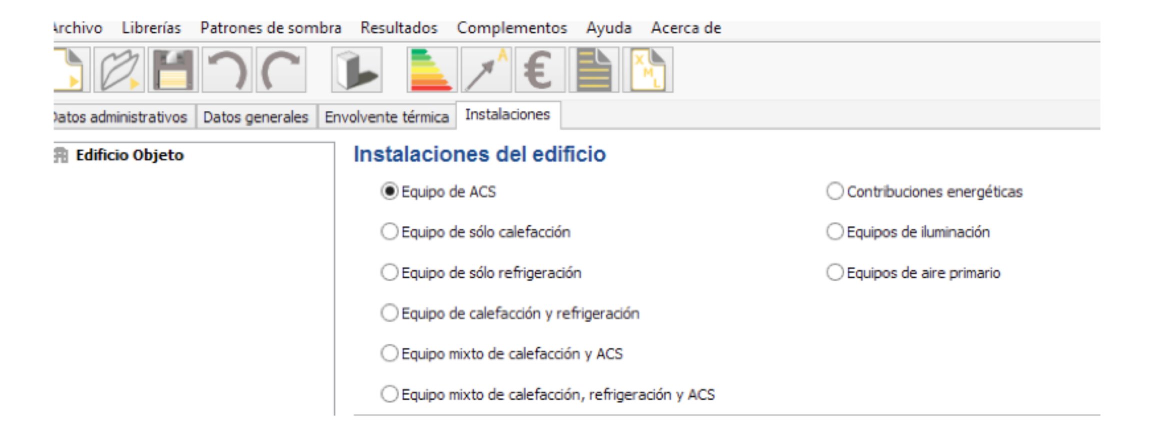


Figura 39. Imagen de las opciones para instalaciones en terciario (Fuente: CE3X, versión 2.1)

8. Energías renovables

En este apartado se describen brevemente otras formas de generar energía para el servicio del edificio distintas a la energía solar térmica, la aerotérmica y la geotérmica mediante bomba de calor descritas en apartados y capítulos anteriores. Se describirán con brevedad algunas de las posibles fuentes de energía renovable, solamente las más aplicables o frecuentes en edificación, ya que, aunque no es objeto de la asignatura, se ha estimado conveniente al menos una breve introducción a las mismas. En la bibliografía se puede encontrar referencias para ampliar los contenidos.

En edificios residenciales de nueva construcción, de acuerdo al CTE-DB-HE4, parte de demanda energética para satisfacer las necesidades de agua caliente sanitaria, debe resolverse con energía solar térmica. En rehabilitación, siempre que no haya impedimentos físicos o legales, se podría plantear como forma de ahorro energético. Según casos, podrían ser utilizadas otras fuentes de energía renovable.

Se consideran energías renovables aquellas que se obtienen de fuentes naturales inagotables, bien porque el recurso dispone de una cantidad de energía inmensa, bien porque el recurso tiene la capacidad de regenerarse de manera natural.

En este tema se tratarán brevemente tipos de energías renovables generalmente aplicables a edificación. Otras, como los biocombustibles, con su aplicación a transportes, o la energía mareomotriz, para obtención de energía a gran escala, no se analizarán en este tema. En concreto, se definirá la energía solar y fotovoltaica, la energía eólica y la energía geotérmica. Finalmente, por la consideración que ha tenido de combustible neutral y su aplicabilidad a viviendas, se hablará de la biomasa, como fuente energética que consigue unas buenas calificaciones energéticas al certificar un edificio.

8.1. Energía solar fotovoltaica

La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad, por medio de paneles fotovoltaicos con elementos semiconductores, normalmente células de silicio. En ellos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores.

Una de las ventajas de la tecnología fotovoltaica es su aspecto modular, pudiéndose construir desde enormes plantas fotovoltaicas en suelo hasta pequeños paneles para tejados.

Se trata de una tecnología que está en constante desarrollo sufriendo avances importantes, principalmente en los materiales utilizados, y que se prevé que aumente su rendimiento y reduzca su coste. España es un país que recibe elevada irradiación anual. Sin embargo, el desarrollo de la tecnología y su implantación depende también de las políticas de apoyo a las mismas siendo a fecha actual un punto importante para la viabilidad de las instalaciones. Esta instalación está constituida por:

- Captador o panel fotovoltaico: se compone de un conjunto de células de silicio.

- Regulador: para evitar que se sobrecargue la batería. Durante el día, en la fase de carga, garantiza una carga adecuada en el acumulador; durante la noche, en la fase de descarga, permite el suministro adecuado hacia los puntos de consumo sin que se descarguen las baterías.

- Baterías de almacenamiento de energía: se pueden diferenciar según el electrolito utilizado varios tipos: Plomo-ácido, Niquel-cadmio (Ni-Cd), Níquel-metal hidruro (Ni-Mh(o ión litio (Li).

- Inversor: para convertir la corriente continua que generan las placas solares en corriente alterna para que pueda ser utilizada en la red eléctrica de la vivienda, de 220 V y de frecuencia 50 Hz.

8.2. Energía eólica

El aprovechamiento de la energía eólica para producir energía eléctrica tiene su origen en el siglo XX, inicialmente para autoabastecimiento de pequeñas instalaciones. Sin embargo, en la última década del siglo XX, gracias al desarrollo tecnológico, la energía eólica ha pasado a ser una opción más del mix eléctrico. A modo de ejemplo, en el año 2015, la energía eólica suministró aproximadamente el 19 % de la electricidad consumida en España, que se sitúa en la segunda posición en la UE-27 y a nivel mundial ocupamos el quinto lugar, detrás de China, EE. UU., Alemania e India. En los últimos años, como consecuencia de la inseguridad jurídica se han paralizado las inversiones en energía eólica en nuestro país.

Para captar la energía eólica se pueden emplear palas rotando alrededor de un eje horizontal o palas verticales situadas a lo largo de un cilindro girando en torno a un eje vertical. Los aerogeneradores de eje horizontal son los más frecuentes, por ser más eficientes y económicos, sin embargo, no toleran bien los vientos racheados, débiles o con cambios frecuentes de dirección y requieren de una veleta para orientarse de cara al viento. Los aerogeneradores de eje vertical se adaptan a cualquier dirección del viento, son más silenciosos y generan pocas vibraciones. Por contra, son más costosos y su rendimiento es inferior.

La tecnología mayoritariamente empleada es la del aerogenerador, máquina que convierte la fuerza del viento en electricidad, con tres palas girando en un eje horizontal.

A menor escala, se puede hablar de la energía minieólica, en la que se utilizan aerogeneradores de potencia inferior a los 100 kW. De acuerdo con las normas internacionales, los molinos de esta tecnología deben tener un área de barrido que no supere los 200 m2.

De momento son instalaciones de escasa aplicación, pero pueden ser muy adecuadas cuando existe dificultad o un coste excesivo para hacer llegar la red eléctrica. Se suelen combinar con paneles solares para combinar la disponibilidad de los recursos. Las instalaciones de minieólica aisladas permiten la instalación de equipos de diferentes tamaños, desde una pequeña instalación con un consumo de 4 - 10 KW/h al día para una vivienda, hasta instalaciones que de más de 40 KW/h al día para industrias, empresas o edificios con una actividad que requiera mayor potencia.

Lo principal para poder realizar una instalación de este tipo es la disponibilidad y la intensidad del viento. De forma general, una instalación minieólica será viable a partir de 4-5 m/s de velocidad del viento media.

Un factor importante en la instalación es la altura de la torre, que sea suficiente para obtener rendimiento, pero no excesiva para evitar un sobrecoste de la instalación. En general, se recomienda una altura mínima libre de obstáculos de 10 m. Si hay obstáculos, hay que sumar 10 m desde la altura de los mismos. Las casas comerciales dan diferentes variedades de sistemas de anclaje. Así mismo, hay que mantener una distancia entre obstáculo y aerogenerador, evitando aquellos opacos como edificios o muros y dejando al menos, en semi-permeables al viento como árboles u otras estructuras, se debe guardar una distancia mínima de entre 7 a 10 veces el diámetro del obstáculo.

8.3. Energía geotérmica

La energía geotérmica es aquella energía que aprovecha la inercia térmica del terreno, al utilizar la almacenada en forma de calor que se encuentra bajo la superficie de la tierra.

La energía geotérmica de alta entalpía es una fuente de energía emergente en nuestro país y todavía se encuentra en fase de desarrollo. Esta aprovecha el recurso geotérmico si se encuentra en determinadas condiciones de presión y alta temperatura (superior a 150 ºC). El aprovechamiento de este recurso puede hacerse directamente si se dan de forma natural las condiciones geológicas y físicas para ello. Puede aprovecharse para la producción directa de calor o para la generación de electricidad.

En edificación hablaremos, generalmente, de energía geotérmica de baja entalpía. En este caso, se basa en la capacidad que el subsuelo posee de acumular calor y de mantener una temperatura sensiblemente constante, entre 10 y 20 m de profundidad, a lo largo de todo el año. En este caso, se aprovecha para la producción directa de calor. La tecnología desarrollada para este fin es la bomba de calor geotérmica renovable, que extrae el calor del subsuelo terrestre, calentando un fluido de alta compresibilidad y bajo punto de vaporización tal y como hemos descrito con detalle en el apartado anterior. La finalidad es transmitir ese calor en condiciones de frío a la instalación e invertir el proceso en verano, transmitiendo el calor al terreno.

En el mercado existe una amplia gama de bombas de calor geotérmicas renovables de distintos tipos y diferentes potencias.

8.4. Biomasa

La biomasa es la materia orgánica utilizada como fuente energética. Generalmente son materiales de origen vegetal, si bien también se considera biomasa la materia orgánica de las aguas residuales y los lodos de depuradora, y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y otros residuos industriales.

La biomasa aplicada en edificación utiliza como materia prima restos vegetales como, restos de la poda, huesos de oliva, cáscaras de almendras para generar energía térmica para agua caliente sanitaria y calefacción. Generalmente el residuo tratado se comercializa en forma de pellets, astilla o serrín. El pellet es un cilindro formado por partículas muy pequeñas de residuos serrín de la madera comprimido a alta presión y con eliminación de la humedad y, por tanto, una composición muy densa y dura, consiguiendo un gran poder calorífico. Otra forma de encontrar la biomasa es en forma de briqueta que es un aglomerado de astillas que puede ser fabricado por diversidad de materiales compactados procedentes de la industria de transformación de la madera, residuos forestales, residuos municipales, carbón vegetal o una mezcla de todos.

En edificios se consigue obtener un elevado ahorro energético y gran eficiencia con la implantación de calderas de biomasa, para generar calor para agua caliente sanitaria y calefacción.

La instalación más sencilla a base de biomasa son las estufas para calefactar espacios concretos. Generalmente las estufas funcionan con pellets.

Las instalaciones más complejas consisten en calderas de biomasa, que requieren mayor espacio para su ubicación, y muchas veces, según el volumen a calefactar, un lugar para almacenamiento del material o un silo prefabricado con el mismo fin. Las calderas domésticas serían aquellas con menos de 70 kW de potencia, mientras que las calderas medianas o grandes poseen mayor número de obligatoriedades técnicas que se deben considerar en el diseño de la instalación y que de un facultativo competente para la legalización del proyecto y certificados finales propios de la instalación.

El lugar para el almacenamiento de combustible debe estar destinado exclusivamente para este uso, pudiendo ser dentro o fuera del edificio. Los requisitos que deben cumplir están detallados en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE-2007). En edificios de nueva construcción se debe disponer de un sistema de almacenamiento suficiente para cubrir el suministro de dos semanas de máximo consumo para calderas o conjunto de calderas y, además se debe disponer de un silo o de un almacén en una cámara distinta a la sala de calderas, dedicada exclusivamente a este fin.

8.5. Microgeneración

La microgeneración de energías renovables hace referencia a la generación de energía eléctrica a pequeña escala, utilizando el viento y/o del sol. Por lo general, no se obtiene más de 20kW de potencia. Es adecuada para pequeños núcleos de viviendas o para usos rurales.

El modelo clásico de generación de energía se da a gran escala en lugares alejados de los centros urbanos. Es necesario, por tanto, un sistema de transporte y distribución hacia los usuarios finales, que conlleva costos y pérdidas. En el modelo de microgeneración distribuida se tiende a ver al usuario final como un eslabón más en la ecuación energética, ya que tiene capacidad de autoabastecerse y todo lo que genera lo consume en el lugar. Además, dependiendo de las dimensiones de la instalación y la disponibilidad de energía con la que se cuenta en la zona, puede también aportar la electricidad excedente a la red eléctrica dejando de ser un consumidor y convirtiéndose en productor.

De todos los tipos de energías alternativas, la eólica y la solar son las que están disponibles a nivel comunitario y no requieren una gran inversión. El resto, de momento y a la espera de cómo se desarrollen las tecnologías, solo están disponibles para grandes empresas con alta capacidad de inversión.

9. Autoevaluación

1. Explique qué es la eficiencia energética en instalaciones.

2. Enumere las principales herramientas de certificación utilizadas en España.

3. Enumere y describa los distintos sistemas de climatización.
4. Explique qué es un sistema de ACS y un sistema mixto.
5. Enumere y describa la clasificación de los distintos tipos de calderas en función del tiro de aire.
6. Enumere y describa la clasificación de los distintos tipos de calderas en función del tipo de instalación.
7. Enumere y describa la clasificación de los distintos tipos de calderas en función del tipo de combustible.
8. Enumere y describa la clasificación de los distintos tipos de calderas en función del rendimiento térmico.
9. Explique que es una bomba de calor y su funcionamiento básico.
10. Explique que es una bomba de calor Inverter.
11. Explique que es una bomba de calor autónoma.
12. Explique que es una bomba de calor solo frío.
13. Explique que es una bomba de calor *multisplit*.
14. Explique que es una bomba de calor VRV.
15. Explique que es un *Fancoil*.
16. Explique que es en HULC un equipo ideal

10. Bibliografía

Publicaciones del IDAE:

Energías renovables:

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_05532_Boletin_IDAE_num_8_06_fd5ab1fd.pdf

Solar térmica:

http://idae.electura.es/libros/437/index.html

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Prod14_ST_viviendas_unifamiliares_04_3bcfa905.pdf

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Prod13_ST_comunidades_de_vecinos_04_28a695e2.pdf

Solar fotovoltaica:

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Prod_10_Instalaciones_Fotovoltaica_menores_5kW_conectadas_a_red_8af605bf.pdf

Biomasa:

http://idae.electura.es/libros/28/index.html

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_Edificios_A2007_6862bde5.pdf

Eólica:

http://idae.electura.es/libros/439/

Geotérmica:

http://idae.electura.es/publicacion/249/manual_geotermia_reimpresi %EF %BF %BDn

eHabilita, rehabilitación eficiente, 2012, *Eficiencia energética y energías renovables en rehabilitación de edificios*, Vigo.

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, Fenercom, 2012, *Guía básica de la microgeneración*. Madrid

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, Fenercom, 2012, *Guía sobre tecnología minieólica*. Madrid (http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-tecnologia-minieolica-fenercom-2012.pdf)

AVEBIOM, Sociedad Española de Valorización Energética de la Biomasa. www.avebiom.com.

TEMA 7. Instalaciones Solares térmicas

1. Introducción

La energía solar se puede considerar como una fuente de energía inagotable. Esta energía se obtiene a través de la radiación solar que emite el Sol y llega a la Tierra. No obstante, es un tipo de energía muy irregular. La cantidad y la duración de radiación solar que incide en la Tierra no es constante, varía diariamente, mensualmente y horariamente. Adicionalmente la intensidad con la que llega es más o menos atenuada en función de la composición de la atmósfera, viéndose afectada principalmente por la cantidad de vapor de agua (nubes) y la contaminación existente.

El objetivo de este capítulo es mostrar cómo se puede realizar el aprovechamiento térmico de la energía solar y explicar el uso de la herramienta CH4 para la certificación de sistemas de energía solar térmica según el documento HE del código técnico.

2. Radiación solar. Conceptos básicos

El Sol, es un gigantesco reactor nuclear que proporciona luz y calor a todos los planetas del sistema solar. Irradia energía al espacio mediante ondas electromagnéticas. Esta energía puede ser recogida por instalaciones en forma de calor para ser utilizada en diferentes aplicaciones.

El valor medio de radiación solar por metro cuadrado de superficie expuesta perpendicularmente a la radiación se denomina constante solar y tiene un valor de aproximadamente 1.367 vatios.

La radiación que incide sobre la superficie de la Tierra tiene 3 componentes: radiación directa, difusa y reflejada.

- *Radiación directa*. Es la radiación que llega a la superficie desde la dirección del Sol.
- *Radiación difusa*. Es la que ve modificada su trayectoria al chocar con las partículas y los componentes de la atmósfera.
- *Radiación reflejada*. Es la radiación que incide sobre la superficie terrestre procedente de la reflexión con los elementos del entorno.

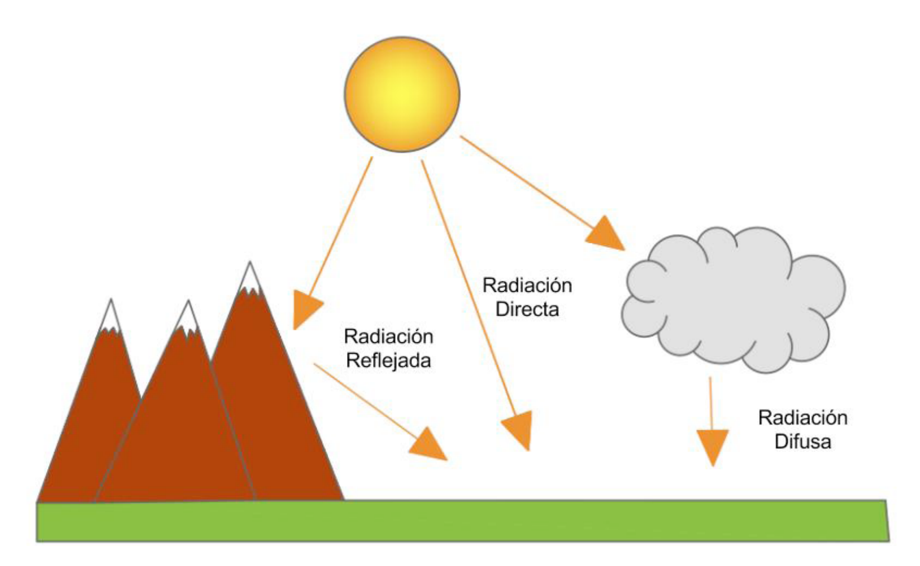


Figura 1. Esquema clasificación radiación Solar

La suma de las radiaciones, que inciden sobre un punto de la superficie terrestre, es la llamada radiación global.

De los 1.367W que llegan a la superficie de la atmósfera, parte de esta radiación no llega a la superficie de la Tierra debido a:

- La capa de Ozono que absorbe la radiación ultravioleta.
- La cantidad de radiación que es reflejada al espacio nuevamente.
- La composición de la atmósfera.

El movimiento de la Tierra alrededor del Sol y alrededor de su eje es otro factor importante en la variación de la cantidad de radiación que incide en la superficie.

El movimiento de la tierra alrededor de su eje provoca la alternancia entre el día y la noche; y el movimiento alrededor del Sol hace variar las duraciones relativas del día y la noche acorde a las estaciones, así como el grado de inclinación de la radiación incidente.

La posición del Sol con respecto a un punto en cada instante se puede definir adecuadamente utilizando dos coordenadas, la declinación y el azimut solar.

El *azimut* es el ángulo de giro del Sol con respecto al sur geográfico medido sobre el plano horizontal y la *declinación solar* es el ángulo que forma la línea Sol-Tierra con el plano ecuatorial. El valor de este ángulo va variando a lo largo del año entre 23,45° (solsticio de verano) y -23,45° (solsticio de invierno) siendo cero en los equinoccios de primavera y otoño, épocas en que los dos polos terrestres se encuentran a la misma distancia del Sol, la luz se proyecta por igual en ambos hemisferios y el día tiene la misma duración que la noche en toda la Tierra.

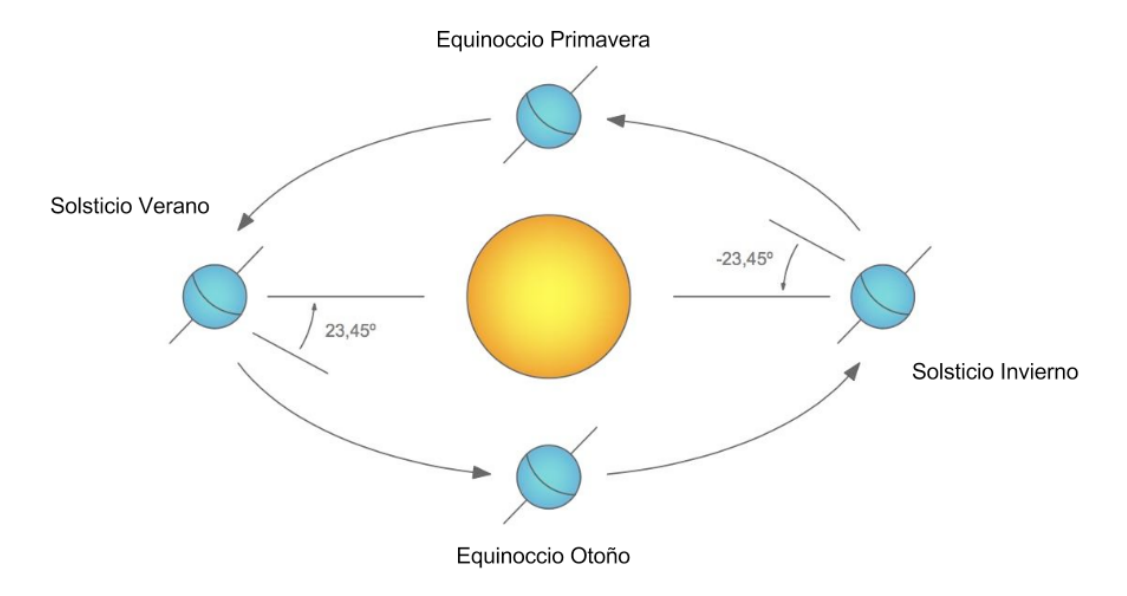


Figura 2. Movimiento de translación de la tierra alrededor del Sol

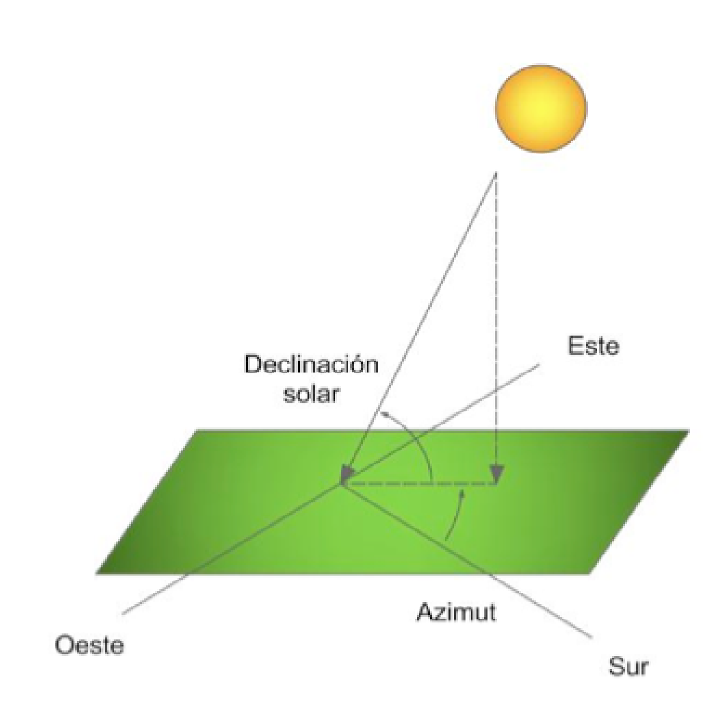


Figura 3. Esquema Azimut y Declinación Solar

Existen instalaciones para diferentes aplicaciones, y con una gran cantidad de variantes, capaces de captar la radiación que consigue incidir sobre la superficie de la Tierra. Las aplicaciones básicas de estas instalaciones son:

- *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Consiguen captar la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor llamado célula fotovoltaica o mediante una deposición de metales sobre un sustrato llamada célula solar de película fina y convertirla directamente en electricidad.

- *Instalaciones solares termoeléctricas*. Utilizan la energía solar para impulsar un motor térmico, normalmente una turbina de vapor, concentrando mediante espejos o lentes la radiación solar para conseguir altas temperaturas.

- *Instalaciones solares térmicas*. Captan el calor del Sol con el objetivo de emplearlo para calefacción de casas y edificios, agua caliente sanitaria, necesidades industriales, etc. Este tipo de instalaciones son el objetivo principal de este libro y son las que se van a tratar con mayor profundidad.

En las instalaciones de rehabilitación de edificios la instalación solar térmica es la instalación más habitual, aunque también pueden ser instalados paneles solares fotovoltaicos.

Instalaciones solares térmicas de alta y baja temperatura:

Una instalación solar térmica tiene la misión de captar la radiación solar, tanto la directa como la difusa, y almacenarla con el objetivo de aprovecharla para aplicaciones térmicas como calentar agua, calefacción, climatizar piscinas, etc. evitando en la medida de lo posible el consumo de energías convencionales.

La clasificación más inmediata en este tipo de instalaciones es en función de la temperatura nominal que son capaces de alcanzar, siendo esta clasificación como sistemas de alta y baja temperatura. Las instalaciones de alta temperatura son aquellas en las que el fluido de trabajo alcanza temperaturas superiores a los 70 ºC, pudiendo alcanzar temperaturas de trabajo 500 ºC o incluso superiores. Su aplicación principal son procesos industriales y producción de vapor para centrales termoeléctricas. Las de baja temperatura son aquellas en las que el fluido no supera los 70 ºC, siendo su aplicación principal para producción de calefacción y agua caliente sanitaria. El uso más habitual en rehabilitación energética de edificios residenciales y terciarios es este último.

Las diferentes aplicaciones que tienen las instalaciones solares térmicas son:

2.1. Producción de energía eléctrica

Estas instalaciones generan electricidad al concentrar la radiación solar, alcanzando de este modo altas temperaturas. Posteriormente, mediante una máquina térmica, realiza un proceso termodinámico denominado ciclo de potencia (normalmente un ciclo de Rankine) y gracias a variaciones en el volumen específico del fluido de trabajo en el ciclo se obtiene energía mecánica en una turbina, que mediante un alternador es transformada en energía eléctrica. Este tipo de centrales también

pueden ser diseñadas para almacenar energía térmica y producir energía eléctrica en horas en las que no se disponga de radiación, aunque esto conlleva una pérdida de rendimiento.

Las centrales termosolares se clasifican a su vez en función de la forma de en el que concentran la radiación solar, clasificándose como centrales de torre, de disco parabólico y de cilindro parabólico.

2.2. Uso en procesos industriales

Muchos procesos industriales requieren fluidos calientes a temperaturas muy diversas, desde 30 ºC hasta más de 500 ºC. Normalmente estos fluidos se calientan utilizando combustibles fósiles o utilizando energía eléctrica, pero está la posibilidad de utilizar instalaciones solares térmicas para calentar dichos fluidos con ahorro económico y siendo más respetuosos con el medioambiente.

Algunos de los procesos industriales en los que se utilizan las instalaciones solares térmicas son:

- Lavanderías de ropa.
- Lavado de coches.
- Lavado industrial (botellas, separación de fibras, piezas de coches, etc.).
- Precalentamiento de fluidos para procesos industriales.
- Desalinización del agua del mar.
- Deshidratadores de vegetales.
- Procesado de alimentos, etc.

2.3. Calefacción y producción de ACS

En uno de los usos más extendidos para la energía solar térmica, y su uso se ha promovido enormemente desde la entrada en vigor del REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, donde en su documento básico de ahorro de energía obliga legislativamente al uso de este tipo de instalaciones en un amplio abanico de instalaciones. Describiremos con detalle a lo largo de este capítulo las características de estas instalaciones.

3. Captadores solares. Clasificación

Un captador solar es el componente de la instalación solar térmica cuya función es recoger la radiación solar emitida por el Sol para convertirla en energía térmica. Existen diversos tipos de captadores solares térmicos y diferentes formas de clasificarlos. Una de las clasificaciones utilizadas es en función de si utilizan sistemas de concentración o no. Mostramos esta clasificación en la figura 4.

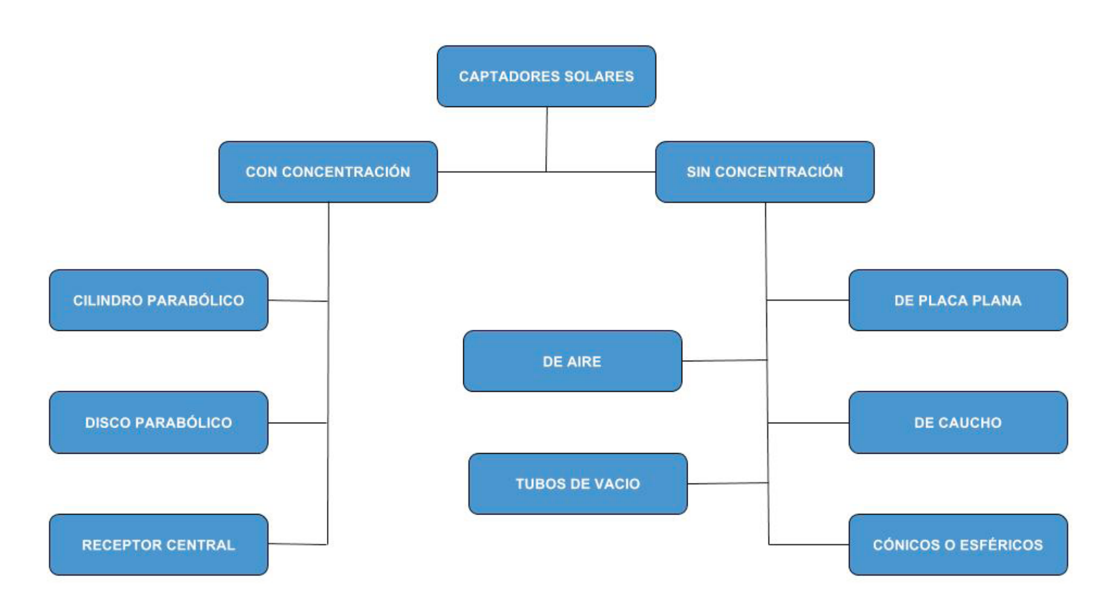


Figura 4. Esquema clasificación de captadores

3.1. Captadores con concentración

También llamados colectores solares de alta temperatura. Su principio de funcionamiento se basa en captar la radiación solar y reflejarla, buscando la concentración en un punto. Su principal aplicación es la de generar energía eléctrica.

Este tipo de captadores utilizan lentes o reflectores para focalizar la radiación que proviene del Sol hasta un punto de sección reducida, consiguiendo así altas temperaturas. Son los más recomendados para zonas en las que la radiación solar directa tiene un alto porcentaje sobre el total de la radiación recibida. El inconveniente de estos captadores es que necesitan ser orientados para poder seguir la posición del Sol, por lo que precisan de un sistema de seguimiento de la posición solar.

Dentro de los captadores con concentración destacan 2 variantes según la forma de sus lentes o reflectores:

3.1.1. *Captadores de cilindro parabólico*

Las lentes, en forma de canal cilíndrico, concentran la radiación en la línea focal del canal en el que están situados los tubos receptores, en cuyo interior se encuentra el fluido de transferencia de calor. Este fluido, calentado a altas temperaturas por el captador, se hace circular a través de una serie de intercambiadores para producir vapor sobrecalentado, que posteriormente se utilizará para impulsar una turbina y obtener energía eléctrica. En estos captadores solo se aprovecha la radiación solar directa, pero gracias al proceso de concentración son capaces de alcanzar altas temperaturas. Podemos ver su esquema y principios de funcionamiento en la figura 5.

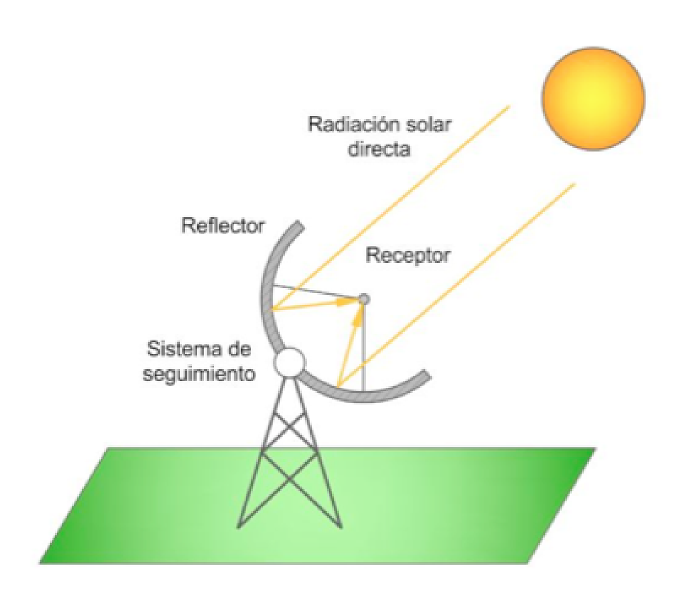


Figura 5. Captador cilindro parabólico

3.1.2. *Captadores de disco parabólico*

Son captadores similares a los de cilindro parabólico, pero la diferencia es que realizan la concentración en un único punto mediante un disco parabólico. Podemos ver su principio de funcionamiento en la figura 6.

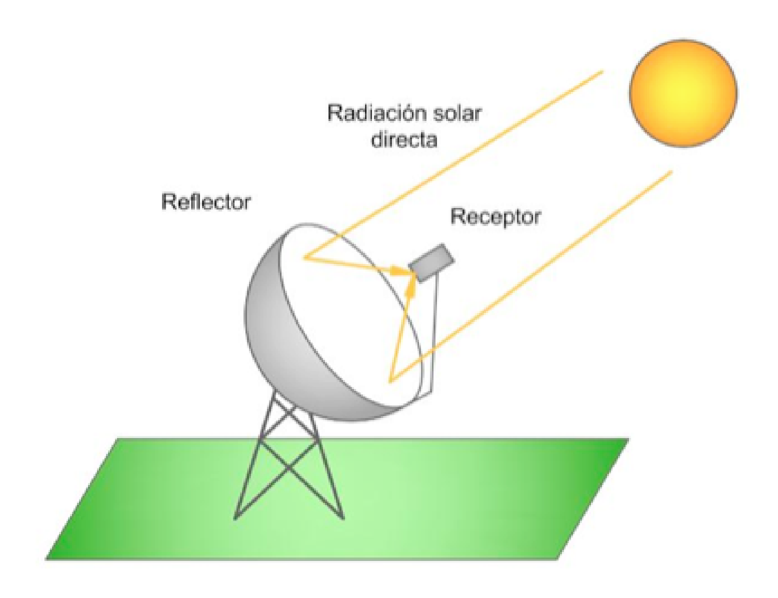


Figura 6. Concentrado de disco parabólico

3.1.3. *Receptor Central*

Este tipo de instalaciones son utilizadas para la producción de energía eléctrica y para realizar hornos de fundición de metales en los que se precise alta pureza. En este caso la instalación consta de una torre central donde todos los espejos o heliostatos distribuidos por el campo de colectores concentran toda la radiación solar incidente. Los espejos necesitan de un dispositivo de seguimiento de modo que se mantengan orientados en todo momento. Podemos observar su principio de funcionamiento en la figura 7.

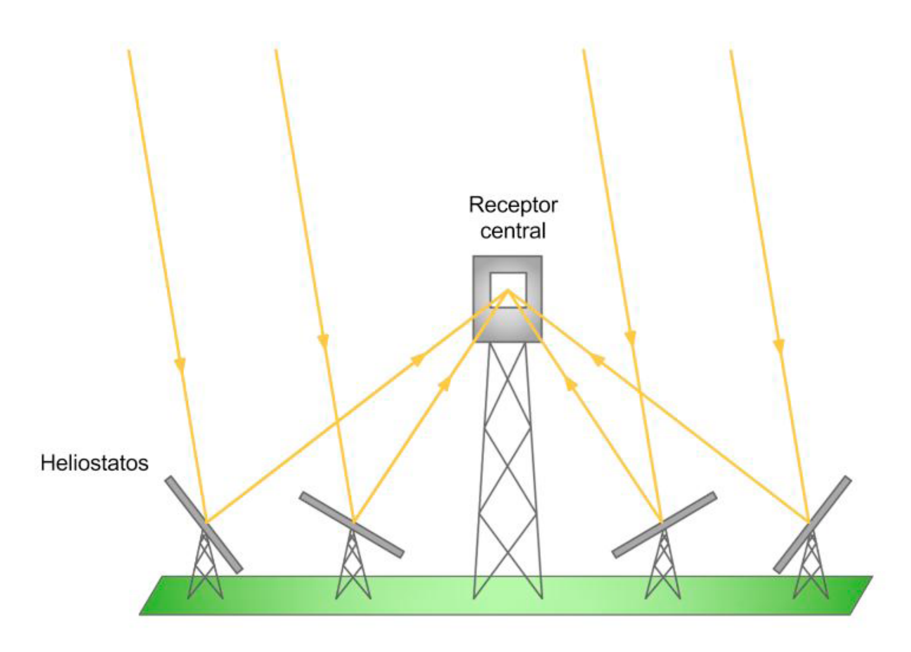


Figura 7. Sistema de torre o receptor central

Actualmente en España ya existen varias centrales eléctricas de este tipo, con producciones de 10 a 50 MW por unidad, contando algunas con almacenamiento de energía. La potencia total instalada en España en este tipo de centrales asciende a 2.350 MW. La construcción de este tipo de centrales actualmente está paralizada por la incertidumbre en el mercado actual, pero existían gran número de proyectos especialmente en el sur de España.

3.2. Captadores sin concentración

Son los colectores utilizados en instalaciones solares de baja temperatura, debido a que la temperatura que puede alcanzar el fluido de trabajo está por debajo de los 70 ºC. Sus aplicaciones más comunes son la calefacción y producción de agua caliente sanitaria, aunque también se usan en aplicaciones industriales. Tienen la ventaja de que no necesitan de un sistema de seguimiento. Tal y como hemos visto en la figura 4 los tipos de captadores sin concentración son los siguientes:

3.2.1. *Colectores de aire*

Son colectores de tipo plano y su principal característica es tener como fluido caloportador el aire. Su aplicación principal es la calefacción de edificios, y son relativamente económicos y muy robustos. Lo más habitual en este tipo de colectores es proceder a una integración arquitectónica en el edificio, y es habitual hacerlos funcionar simplemente por procesos de convección natural, lo que los dotan de robustez y ausencia de ruidos. En la figura 8 mostramos el esquema de funcionamiento de este tipo de colectores y en la figura 9 podemos ver la integración arquitectónica de este tipo de colectores en un edificio.

Los colectores de aire solar tienen poca inercia térmica, lo que provoca que incluso en días nublados a los pocos minutos de recibir la radiación solar presenten un funcionamiento efectivo. El aire, fluido caloportador de este tipo de colectores, no es un buen acumulador térmico, pero tiene la capacidad de calentarse rápidamente y de distribuirse con mucha facilidad. Otras ventajas son que ni se congela ni sufre de sobrecalentamientos dañinos, y no existe la posibilidad de que fugas del fluido de trabajo provoquen riesgos estructurales.

El principal inconveniente de este tipo de colectores es que presentan un rendimiento bajo, y si se instalan integrados en el edificio suelen presentar altas pérdidas por orientación e inclinación. Estos colectores no presentan problemas de sobreproducción, y en época estival, actúan de forma similar a las fachadas ventiladas, pudiendo incluso mejorar las características de aislamiento del edificio.

En la figura 10 mostramos un esquema de funcionamiento de una instalación con colectores solares de aire en un edificio.

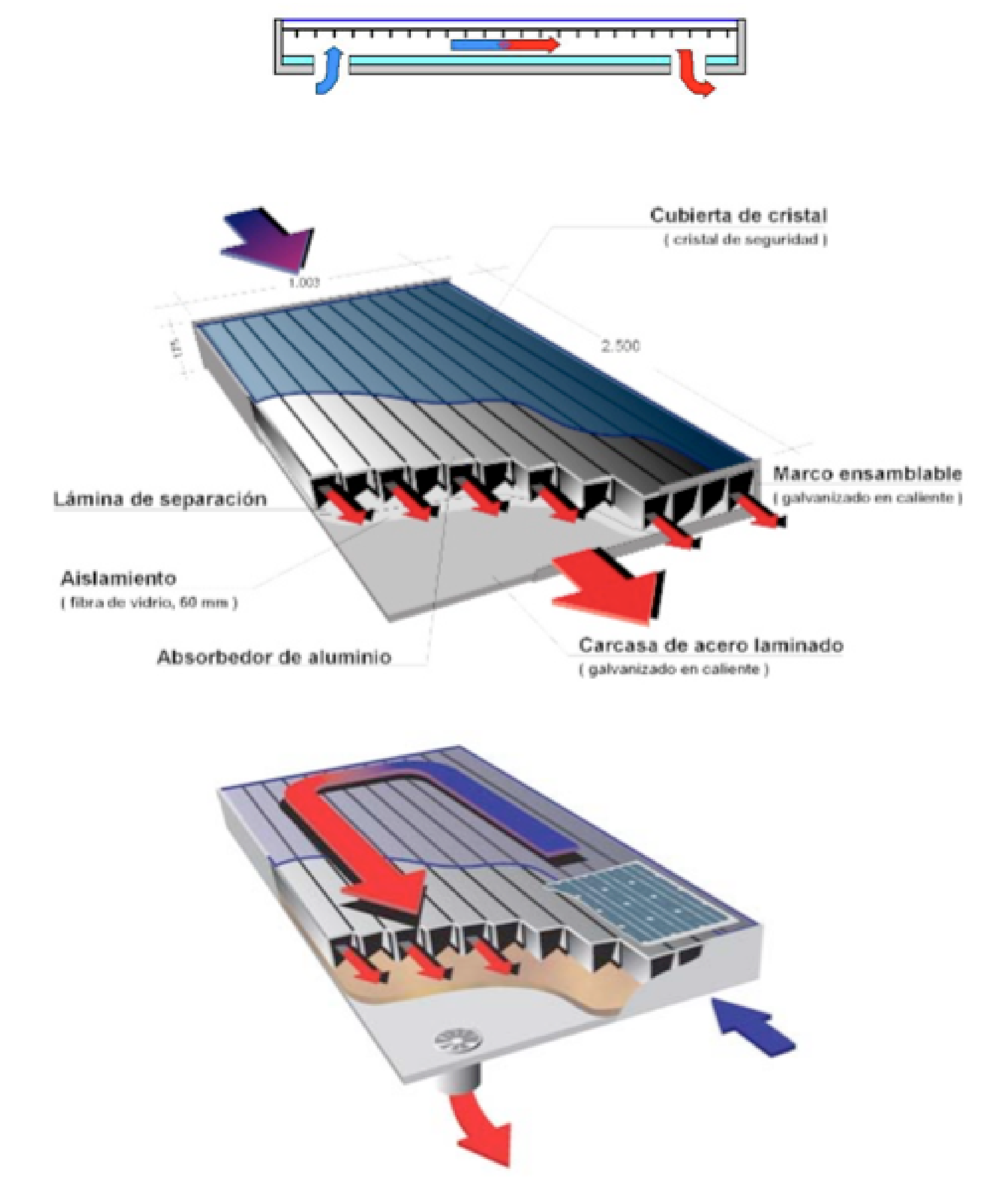


Figura 8. Colectores planos de aire. (Fuente: Gra mmersolar)



Figura 9. Colectores planos de aire. (Fuente: Gra mmersolar)

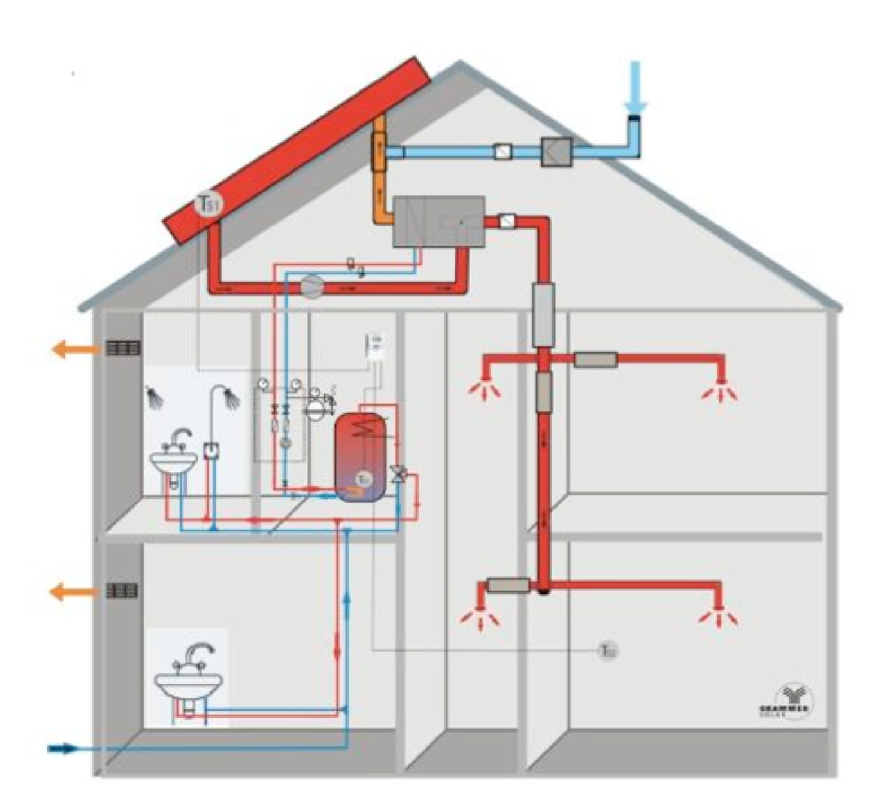


Figura 10. Esquema de funcionamiento de instalación con colectores de aire. (Fuente: Gra mmersolar)

3.2.2. *Colectores de caucho*

Son colectores formados por una serie de tubos o láminas de caucho, que al exponerse al sol absorben la radiación y la transmiten al fluido que circula por su interior. Tienen un rendimiento bastante bajo, y funcionan a muy baja temperatura (en torno a 45 ºC como máximo) siendo su aplicación principal para la climatización de piscinas. Por contra, son sistemas muy económicos y robustos, primando en este tipo de sistemas el coste al rendimiento.

Gracias a este tipo de sistemas se puede ampliar el periodo de utilización de piscinas descubiertas, adelantando y retrasando los meses de uso.

En la figura 11 mostramos colectores solares de caucho y un ejemplo de integración arquitectónica en un edificio para calentamiento de una piscina.





Figura 11. Colectores solares de caucho. (Fuente: Heliotek)

3.2.3. *Colectores cónicos o esféricos*

Son colectores con una superficie de captación cónica o esférica, donde habitualmente se produce la acumulación de agua caliente en el propio colector. Su aplica-

ción principal es la producción de agua caliente sanitaria en pequeñas instalaciones y su uso no está muy extendido.

3.2.4. *Colectores de tubos de vacío*

Son colectores formados por dos tubos cilíndricos concéntricos en los que se reducen las pérdidas de calor que se producen por convección y conducción gracias al vacío que se introduce entre el cilindro exterior y el cilindro interior. El tubo interior se recubre de una pintura selectiva o de un material que favorezca la absorción de la radiación, y es el encargado de captar la radiación solar.

En rehabilitación energética de edificios utilizamos estos colectores en aquellas instalaciones en las que necesitemos temperaturas más elevadas que las alcanzadas por colectores solares planos o cuando la instalación presenta problemas de espacio en cubierta. Para una misma superficie de captación, los colectores de tubos de vacío captan mayor energía que los colectores solares planos, por presentar un rendimiento mayor, aunque incrementan el coste económico.

Hay distintas tecnologías disponibles en el mercado, presentando diferencias en el proceso de transferencia de calor desde el cilindro hasta el agua. Las distintas tecnologías disponibles son las siguientes:

Tubos de vacío de flujo directo:

Esta tecnología se utiliza habitualmente en sistemas de energía solar con depósito integrado. En este caso tenemos dos tubos concéntricos, entre los cuales tenemos el vacío y el tubo interior está directamente comunicado con el depósito acumulador de agua caliente sanitaria. Existen dos variantes de este tipo representadas en la figura 12 en la variante de la izquierda de la figura en el interior del tubo tenemos el agua de consumo y se produce la circulación por termosifón. El funcionamiento por termosifón sucede por diferencias de densidad entre el agua fría y el agua caliente, haciendo que el agua caliente «flote» sobre el agua fría. En la segunda variante el interior de los tubos tenemos agua con anticongelante, siendo necesario un serpentín en el interior del acumulador del agua caliente para realizar la transferencia térmica o un sistema de intercambio tank in tank o de baño maría. Mediante este sistema de intercambio separamos el circuito de agua con anticongelante del circuito con agua sanitaria. El proceso de intercambio y la eficiencia es mayor en el sistema donde tenemos el agua de consumo en el interior de los tubos, pero en la práctica no es aplicable en la mayoría de los casos, pues existe la posibilidad de congelación en climas fríos y la formación de incrustaciones calcáreas en zonas donde el agua de consumo presente dureza.

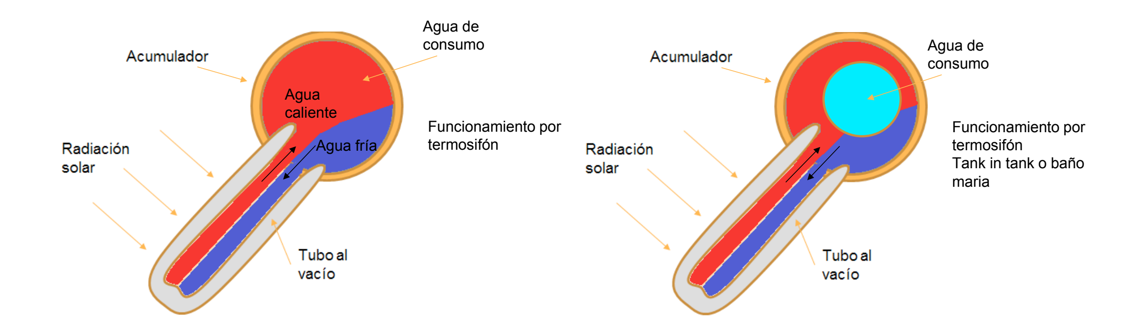


Figura 12. Colector solar de tubos de vacío con flujo directo

Otro método también utilizado y considerablemente más robusto es el mostrado en la figura 13. En este caso el funcionamiento es mediante dos tuberías coaxiales, donde en la tubería interior circula el fluido frío y en la tubería exterior el fluido caliente, o dos tuberías en forma de U como se muestra en la figura 14.

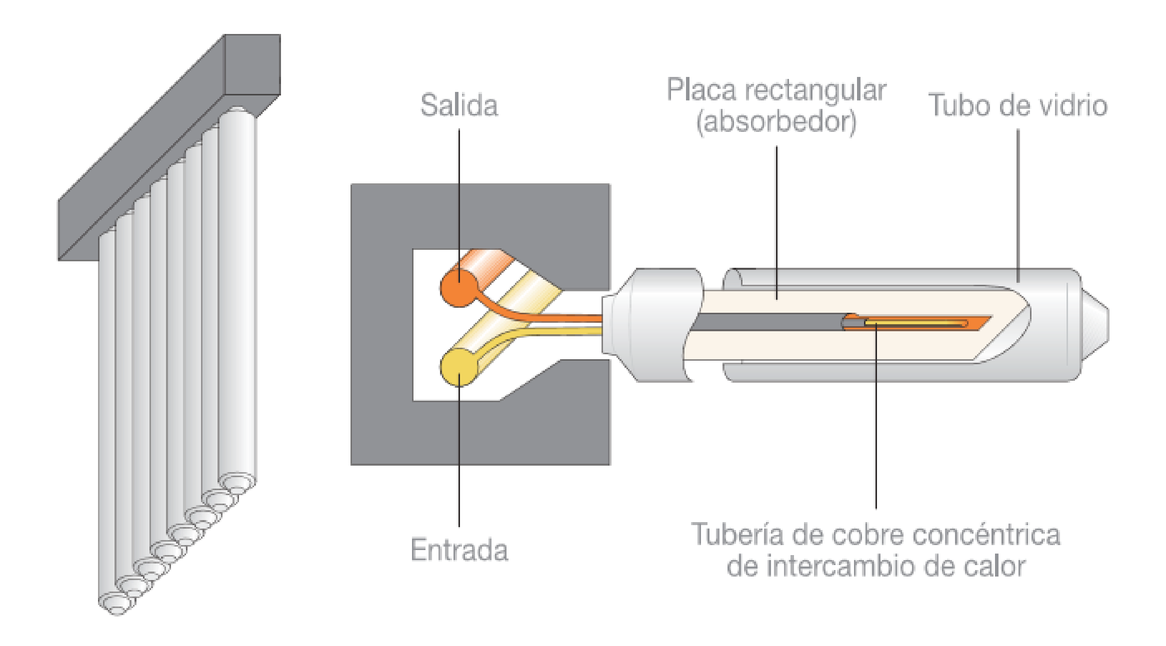


Figura 13. Colector solar de tubos de vacío con flujo directo. Fuente: Las energías renovables en Aragón

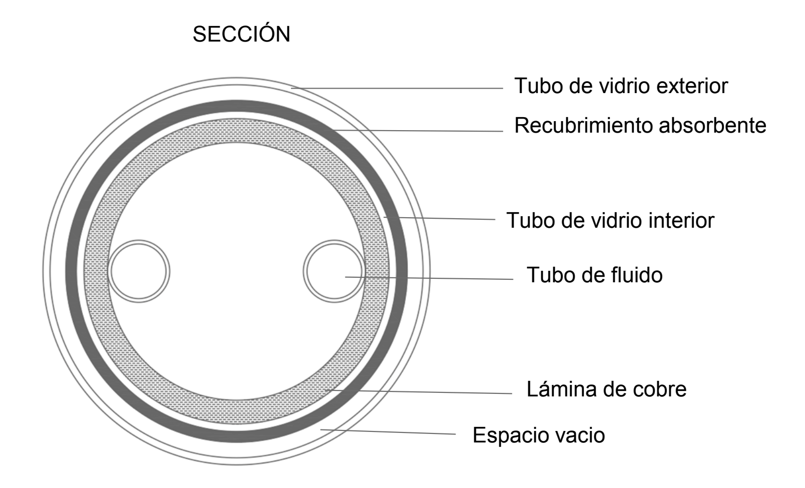


Figura 14. Colector solar de tubos de vacío con flujo directo

Adicionalmente existen colectores donde se introduce una forma semicilíndrica reflectante para poder captar la energía solar de la forma más eficiente posible por la parte trasera, siendo conocidos como CPC o concentración parabólica compuesta. Se muestra este sistema en la figura 15. Este tipo de concentradores pueden ser utilizados en colectores solares de tubo de vacío de flujo directo o también en los de Heat Pipe que mostraremos a continuación.

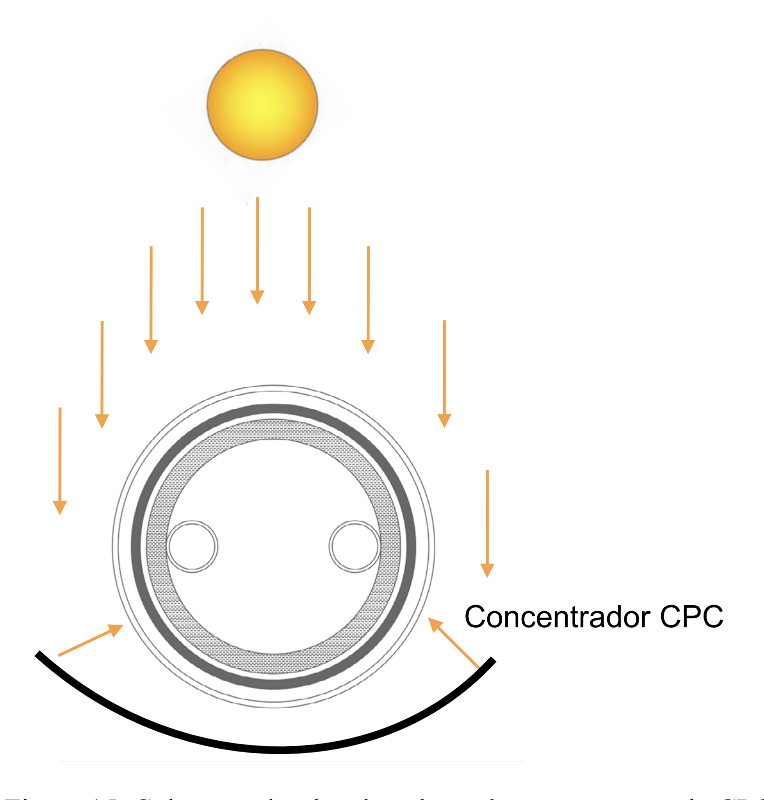


Figura 15. Colector solar de tubos de vacío con concentrado CPC

Tubos de vacío con tubo de calor o Heat Pipe:

La principal diferencia en este sistema respecto a los anteriores de flujo directo es que en este caso en el interior de los tubos tenemos un fluido caloportador que presenta cambio de fase, es decir, que al absorber calor se evapora y asciende hasta el extremo superior del tubo donde se encuentra con el agua a calentar. Esto condensa el vapor y por gravedad cae de nuevo al interior del tubo donde al recibir la radiación solar vuelve a evaporarse de nuevo comenzando una vez más el ciclo. El tubo de calor puede fabricarse con varias configuraciones, siendo la más habitual una placa de absorción selectiva apropiada para operar al vacío, asegurando alta absorción de energía y bajas perdidas por radiación.

Una de las principales ventajas de los sistemas de tubo de calor es la separación hidráulica que se produce entre el tubo de calor y el agua caliente sanitaria, de modo que podemos conectar y desconectar los tubos sin necesidad de despresurizar el sistema. Esto se produce con una conexión de tipo vaina tal y como se muestra en la figura 16. Por el contrario, un inconveniente es que el calentamiento presenta una eficiencia menor que los sistemas de flujo de calor directo. Los sistemas por Tubo de Calor son más resistentes a las heladas, previenen del flujo inverso no perdiendo calor por la noche y son más resistentes a sobrecalentamientos.

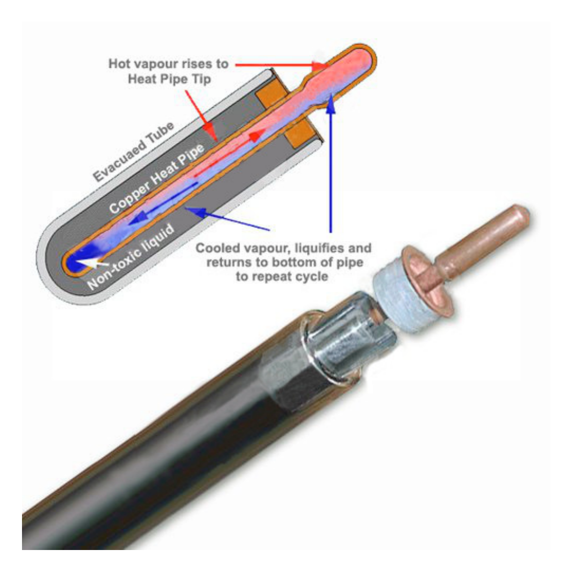


Figura 16. Colector por tubo de vacío con fluido interior con cambio de fase. Fuente: Sunlightsolar, ilijanasov

3.2.5. *Colector solar plano*

Los colectores solares planos son los más utilizados por su buen rendimiento y su precio. El funcionamiento de estos colectores se basa en el efecto invernadero, donde la radiación solar incidente atraviesa la cubierta y queda retenida en el interior del panel solar. Esto sucede como consecuencia de que la cubierta del

panel solar es permeable a las longitudes de onda cortas presentes en la radiación solar visible y opaca a las longitudes de onda más largas presentes en la radiación infrarroja emitida por la placa absorbedora. Podemos ver el principio de funcionamiento en la figura 17.

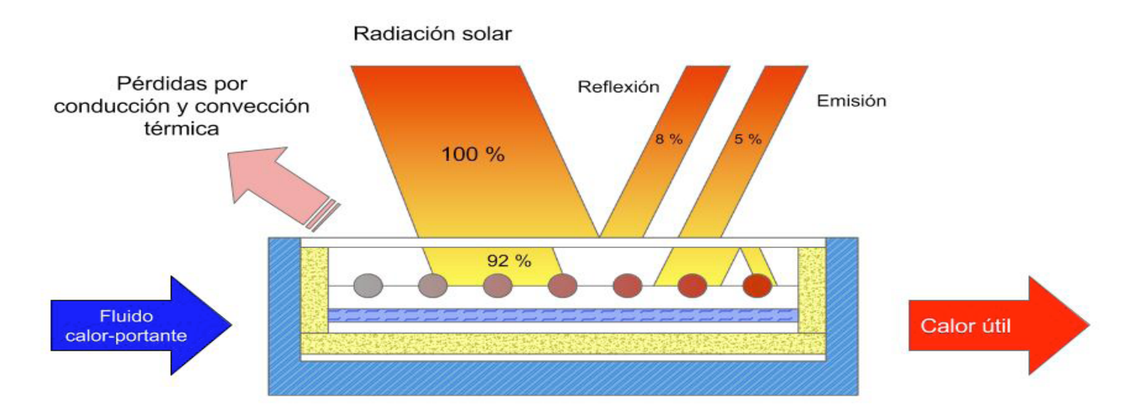


Figura 17. Esquema de funcionamiento de un Colector Solar Plano

La radiación absorbida aumenta la temperatura de la placa absorbedora, de modo que comienza a ceder calor al serpentín de tubos que está soldado a la misma calentando el fluido que circula por su interior.

Podemos ver los componentes de un panel solar plano en la figura 18, siendo estos los siguientes:

Marco: Encargado de suministrar la resistencia mecánica al colector solar. Debe ser capaz de resistir el estrés térmico presente en este tipo de instalaciones, así como las inclemencias meteorológicas

Cubierta transparente: Es la encargada de producir el efecto invernadero y reducir las pérdidas por convección, además de asegurar la estanqueidad del colector al agua y al aire en unión con la carcasa y las juntas. El efecto invernadero logrado por la cubierta consiste en que la radiación que ha atravesado la cubierta y llega a la placa captadora, una parte es reflejada hacia la cubierta transparente con una longitud de onda para la cual esta es opaca, con lo que se consigue retener la radiación en el interior. La cubierta debe por lo tanto presentar un alto coeficiente de transmisión de la radiación solar en la banda de la luz visible, de 0.3 a 3 mm y un bajo coeficiente de transmisión de la radiación en la zona infrarroja de longitudes de onda superiores a 3 mm. Debe presentar una baja conductividad térmica que dificulte el paso de calor desde la superficie interior hacia la exterior y un bajo coeficiente de dilatación que evite riesgos de rotura o deformación.

Placa Captadora: También conocida como placa absorbedora. Absorbe de la forma más eficiente posible la radiación solar y transformarla en energía térmica utilizable mediante su transferencia al fluido caloportador.

Aislamiento: Debe ser un material capaz de resistir altas temperaturas sin deteriorarse, desprender pocos vapores al descomponerse por el calor y en caso de ocurrir que no se adhieran a la cubierta, y no degradarse por el envejecimiento u otro fenómeno a la temperatura habitual de trabajo. Debe poder soportar la humedad que se pueda producir en el interior de los paneles sin perder sus cualidades. Los materiales más usados son la lana de roca, fibra de vidrio, la espuma rígida de poliuretano y el poliestireno expandido. Cualquiera que sea el material escogido debe tener un coeficiente de dilatación compatible con el de los demás componentes del panel solar.

En las figuras 18 y 19 podemos observar la sección constructiva de un colector solar plano y sus distintos componentes. En esta figura vemos un colector montado en parrilla.

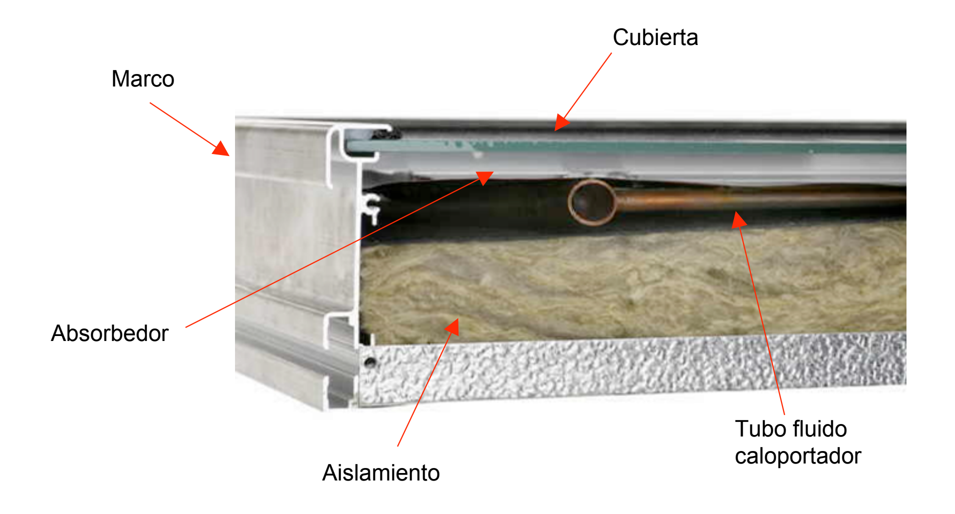


Figura 18. Sección constructiva de un colector solar plano

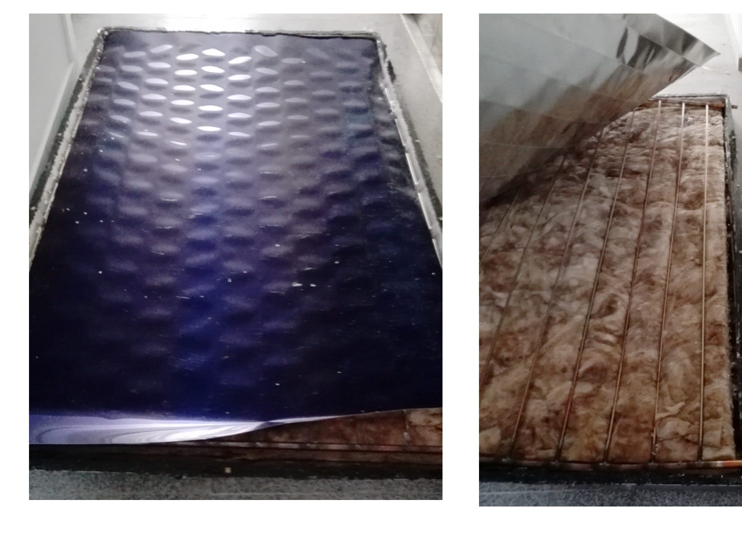


Figura 19. Sección constructiva de un colector solar plano

4. Sistemas de captación solar para producción de agua caliente sanitaria

Existen distintas formas de realizar las configuraciones necesarias para transportar la energía desde el captador al punto de consumo. A continuación, comenzamos a describirlas:

4.1. Sistemas de termosifón

Es un sistema muy adecuado para pequeños consumos, y muy utilizado en viviendas unifamiliares. Es un sistema robusto, económico y muy sencillo de instalar, donde instalamos el equipo solar y el acumulador en la cubierta del edificio, y se produce la circulación del agua entre el panel y el acumulador por diferencia de densidades. El agua fría es más pesada que el agua caliente, y si ubicamos el acumulador por encima del captador solar y efectuamos un correcto diseño del sistema podemos obtener esta circulación de forma natural sin la necesidad de una bomba eléctrica. Este tipo de sistema se conoce como circulación por termosifón y podemos ver su esquema de funcionamiento en la figura 20.

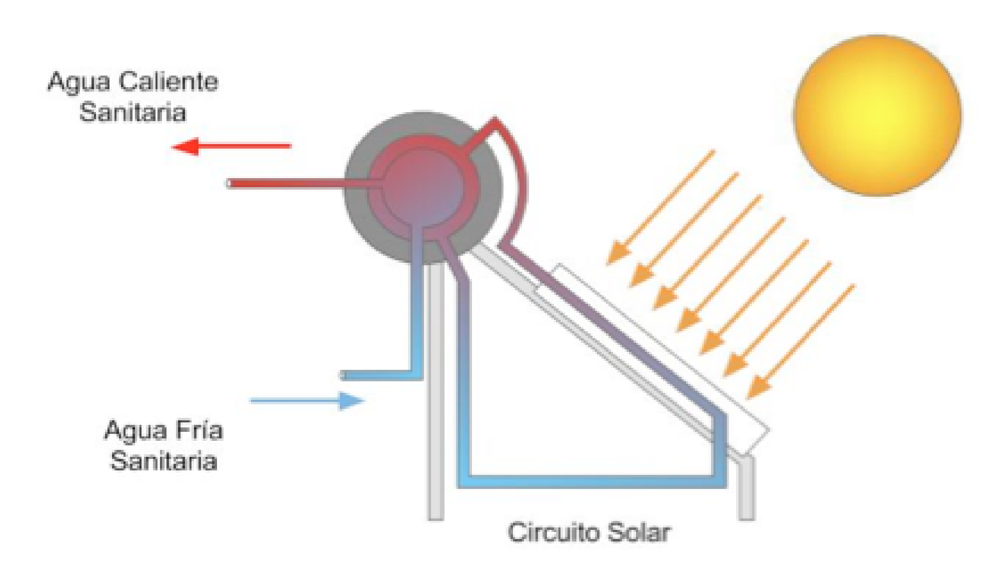


Figura 20. Sistema por termosifón

En este sistema podemos utilizar como captadores paneles solares planos o tubos de vacío y pueden utilizarse mediante flujo directo o mediante un intercambiador dentro del acumulador. El intercambiador normalmente es de tipo Tank in Tank, donde tenemos un tanque cilíndrico exterior y un tanque cilíndrico interior. Entre los dos tanques cilíndricos entre los cuales tenemos el agua glicolada calentada por la energía solar y en tanque interior el agua caliente sanitaria de consumo. La superficie de transferencia es la pared de separación entre ambos cilindros.

Las principales ventajas del sistema por termosifón son:

- Son sistemas muy robustos, que no requieren prácticamente mantenimiento.
- Son sistemas económicos y fáciles de instalar.
- No ocupan espacio en el interior de la vivienda.
- No necesitan alimentación eléctrica.
- No necesitan bombas de circulación de agua.

Los principales inconvenientes de este tipo de sistemas son los siguientes:

- Son solo adecuados para pequeñas potencias, restringiéndose su uso a viviendas unifamiliares.
- Al estar el acumulador en el exterior, en climas fríos las pérdidas térmicas pueden ser muy significativas e incluso tener problemas de congelación
- Al estar el acumulador expuesto a la intemperie se deteriora más que en los casos de acumulador a distancia.
- Según la normativa actual están limitados a sistemas con superficie de captación inferior a 10 m^2.

4.2. Sistemas con acumulación a distancia

Estos sistemas son utilizados cuando el acumulador de ACS no se encuentra junto al captador solar y se necesita de una bomba adicional para hacer circular el agua entre los captadores y el acumulador. Este sistema no tiene límite de potencia y permite realizar un control sobre la instalación.

Existen muchas formas de realizar el aprovechamiento solar mediante este método, pero el esquema de principio básico es el utilizado en la figura 21 mostrada a continuación.

Captación: Es el sistema encargado de captar la energía solar térmica y transportarla hasta el sistema de intercambio. Su componente principal es el captador solar, y está formado por la red de tuberías necesarias y la bomba de recirculación. Habitualmente, para tener protección frente a heladas el fluido caloportador está formado por agua con anticongelante.

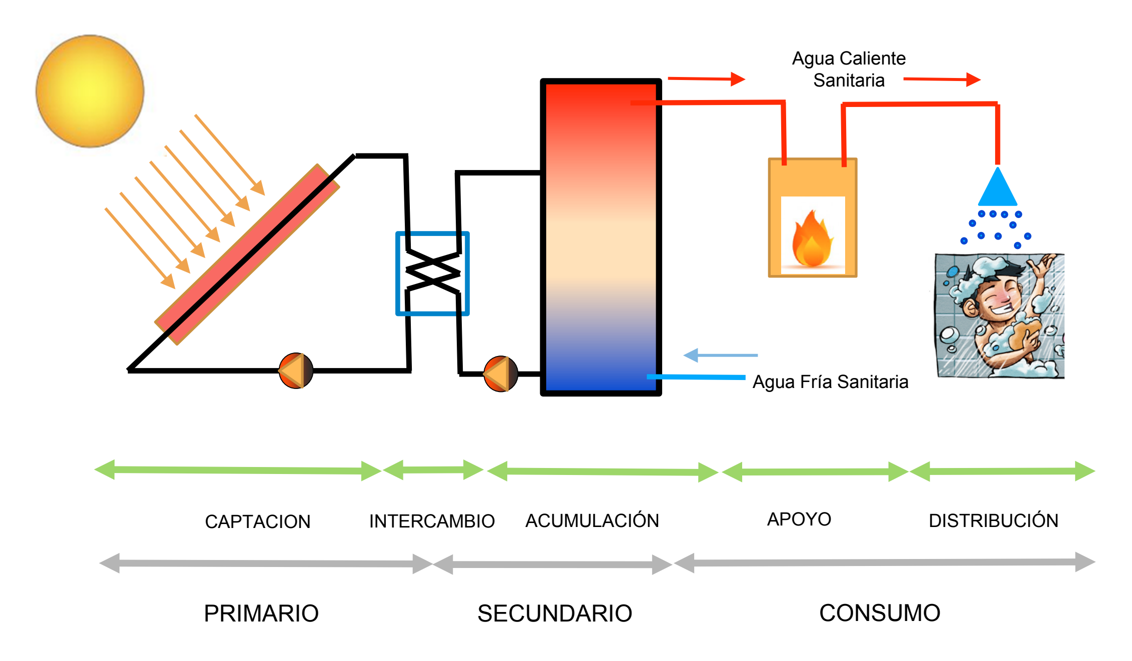


Figura 21. Sistema básico de un sistema por acumulación a distancia

Intercambio: Es el sistema encargado de transportar la energía entre los captadores y el sistema de acumulación. En este elemento transportamos la energía entre el circuito primario y el circuito secundario. A un lado del sistema de intercambio tendremos agua con anticongelante y a otro lado agua sanitaria. El sistema de intercambio puede estar formado por un intercambiador de placas o un serpentín en el interior de sistema de acumulación. En el caso de que el acumulador contenga en su interior el sistema de intercambio se denomina interacumulador.

Acumulación: Es el sistema encargado de almacenar energía térmica en forma de agua caliente. Es necesario como consecuencia de que mediante un sistema solar no tenemos la energía disponible continuamente y porque la potencia en el primario es muy inferior a la necesaria en el sistema de distribución.

Sistema de apoyo: Es necesario para suministrar la energía que no podemos suministrar por el sistema solar térmico. El sistema de apoyo puede ser mediante combustible fósil, biomasa, energía eléctrica o bomba de calor. Adicionalmente el sistema de apoyo también puede disponer de un sistema de acumulación o ser de producción instantánea.

Sistema de distribución: Es el encargado de transportar el agua caliente sanitaria hasta el punto de consumo. Puede disponer de elementos adicionales como son válvulas mezcladoras y bombas de recirculación.

El sistema consta de los siguientes circuitos:

Circuito Primario: es la parte de la instalación que capta la energía solar térmica mediante los captadores y la transfiere al sistema de intercambio.

Circuito Secundario: es la parte de la instalación que transfiere la energía solar térmica desde el sistema de intercambio al sistema de acumulación.

El circuito primario y el circuito secundario están separados por el sistema de intercambio.

Circuito de Consumo: es la parte de la instalación formada por la red de agua fría y la red de agua caliente que llega hasta los puntos de consumo. Contiene los elementos de regulación necesarios para regular la temperatura de la red de consumo y en caso de ser necesario para mantener agua recirculando por la instalación.

En ocasiones, existen circuitos terciarios, utilizados en configuraciones más complejas donde se instalan sistemas de acumulación adicionales.

4.3. Instalaciones individuales

Son sistemas donde el sistema de producción de energía solar térmica se utiliza para un único usuario. Los esquemas de funcionamiento más habituales en este tipo de instalaciones son los mostrados en los apartados siguientes.

4.3.1. *Esquema de funcionamiento mediante termosifón*

En este caso el sistema de captación se realiza mediante un sistema de termosifón como hemos visto en apartados anteriores. De un esquema de funcionamiento a otro las principales diferencias son cómo se realiza el sistema de apoyo a la energía solar. Así pues, en la figura 22 mostramos un sistema por termosifón con un apoyo mediante una caldera o calentador instantáneo.

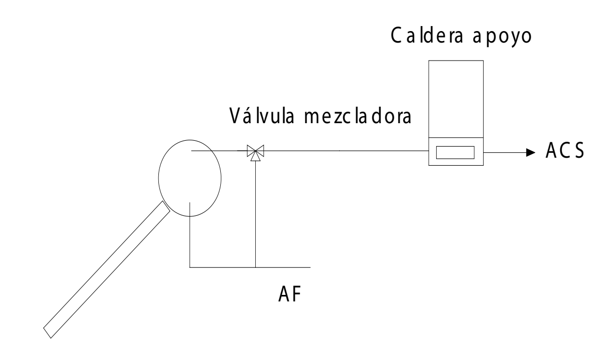


Figura 22. Sistema por termosifón con apoyo mediante caldera

Este es uno de los casos más habituales en las viviendas unifamiliares, y necesita de una caldera o calentador que esté preparada para trabajar en conjunción con un

sistema solar, pues el equipo de apoyo debe ser capaz de aumentar la temperatura hasta la de utilización en función de la temperatura de entrada del sistema solar que puede ser muy variable. En el caso de que la temperatura de entrada desde el sistema solar sea suficiente, la caldera de apoyo no debería conectarse.

Un esquema similar al anterior donde substituimos la caldera por un calentador eléctrico es el mostrado en la figura 23.

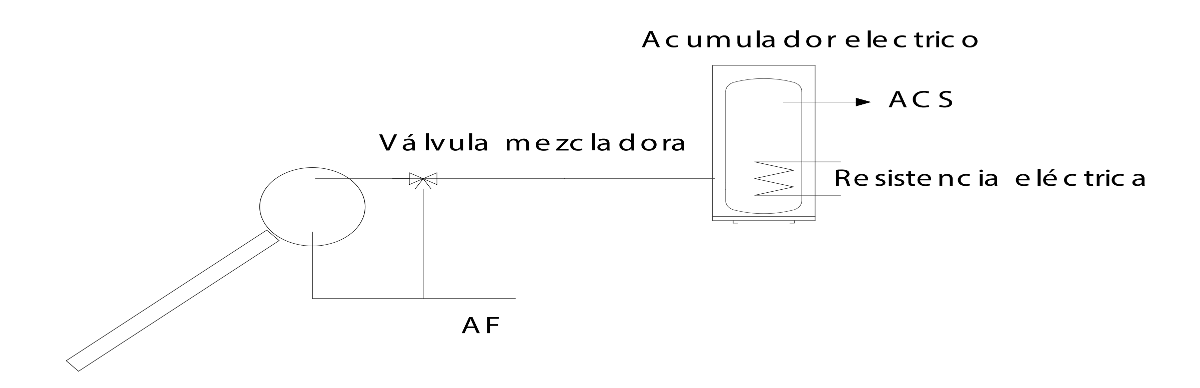


Figura 23. Sistema por termosifón con apoyo mediante acumulador eléctrico

La principal ventaja de este sistema frente al anterior es la menor inversión económica necesaria. Un calentador eléctrico es considerablemente más económico que una caldera de gas, y adicionalmente no se hace necesaria la instalación auxiliar para utilizar el apoyo mediante un combustible fósil (gas natural, butano, propano o gasoil).

El principal inconveniente de esta instalación es que el importe económico de la energía aumenta, pues en general el coste energético de la energía eléctrica es superior a la de las energías fósiles. Otro inconveniente que se puede presentar es que este sistema, por el hecho de mantener el acumulador eléctrico caliente, tiene pérdidas de disposición de servicio como consecuencia de las pérdidas energéticas a través del aislamiento. Se da la paradoja que sin tener demanda y teniendo energía solar disponible, el sistema puede estar consumiendo la energía necesaria para mantener la temperatura del agua acumulada.

Otro esquema similar al anterior es el mostrado en la figura 24. Este caso es muy similar al anterior, pero en este caso el acumulador recibe su energía de una caldera de apoyo.

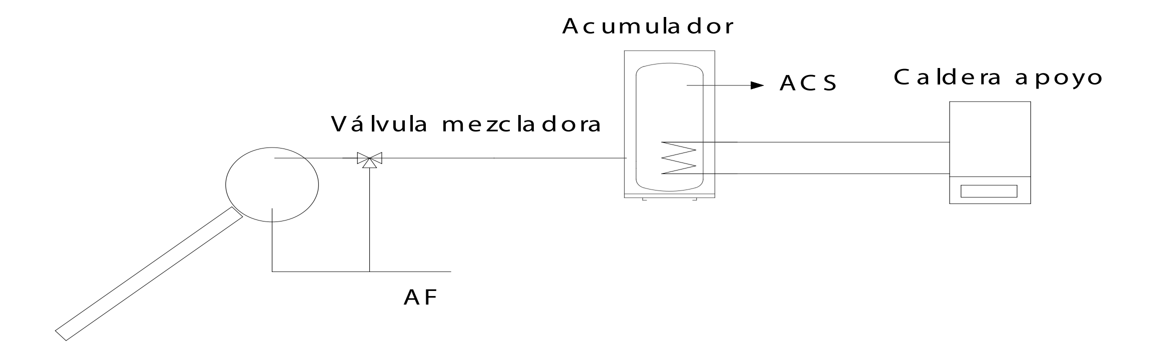


Figura 24. Sistema por termosifón con apoyo mediante acumulador con caldera.

Este sistema es más utilizado en instalaciones con un consumo de energía importante o donde sea necesario un sistema de recirculación, siendo su principal ventaja que baja el consumo eléctrico de la instalación, siendo en este caso el aporte de energía mediante un combustible fósil. Al igual que en el caso con acumulador eléctrico, otro inconveniente que se puede presentar es que este sistema, por el hecho de mantener el acumulador eléctrico caliente, tiene pérdidas de disposición de servicio como consecuencia de las pérdidas energéticas a través del aislamiento del acumulador.

El principal inconveniente de este sistema respecto a los mostrados en los dos casos anteriores es que es considerablemente más costoso desde el punto de vista de la inversión económica inicial necesaria.

4.3.2. *Esquema de funcionamiento mediante acumulación a distancia*

Otro esquema de funcionamiento muy utilizado en instalaciones individuales es el sistema mediante acumulación a distancia. En este caso para instalaciones individuales tenemos multitud de esquemas de principio disponibles, mostrándose a continuación algunos de los más habituales.

En la figura 25 podemos ver un sistema de acumulación a distancia con un apoyo por producción a distancia mediante una caldera. En este caso hemos utilizado un interacumulador en lugar de un acumulador y un intercambiador de placas. Las ventajas del interacumulador frente al acumulador es que presenta un coste económico menor y aumenta ligeramente el rendimiento al disminuir el salto térmico necesario respecto a un intercambiador de placas. La principal desventaja del interacumulador es su dificultad de limpieza, lo que perjudica las limpiezas necesarias para evitar los problemas que ocasiona la legionela y limita su uso a medianas y pequeñas instalaciones.

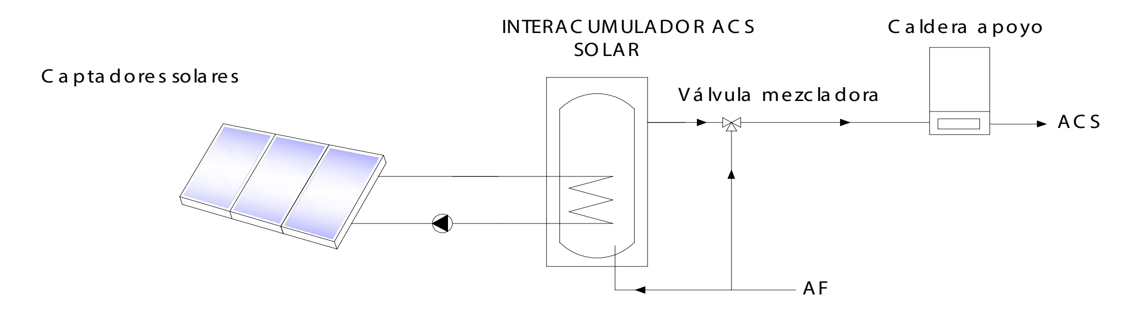


Figura 25. Sistema por acumulación a distancia con apoyo mediante producción instantánea por caldera

En la figura 26, podemos ver un sistema similar, donde el apoyo se realiza mediante un acumulador mediante resistencias eléctricas. Las ventajas e inconvenientes que presenta este sistema son similares a las comentadas en el punto anterior. En este caso hemos utilizado en el primario un intercambiador de placas y un acumulador.

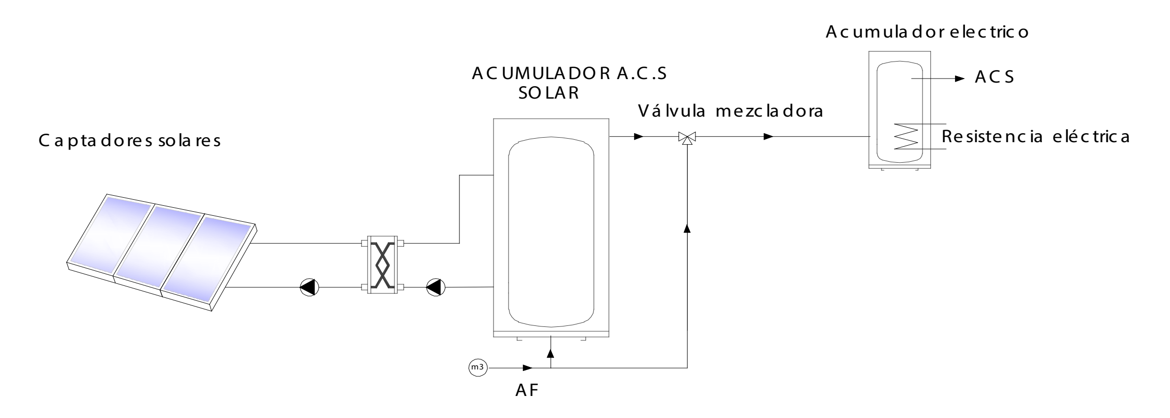


Figura 26. Sistema por acumulación a distancia con apoyo mediante acumulación por caldera

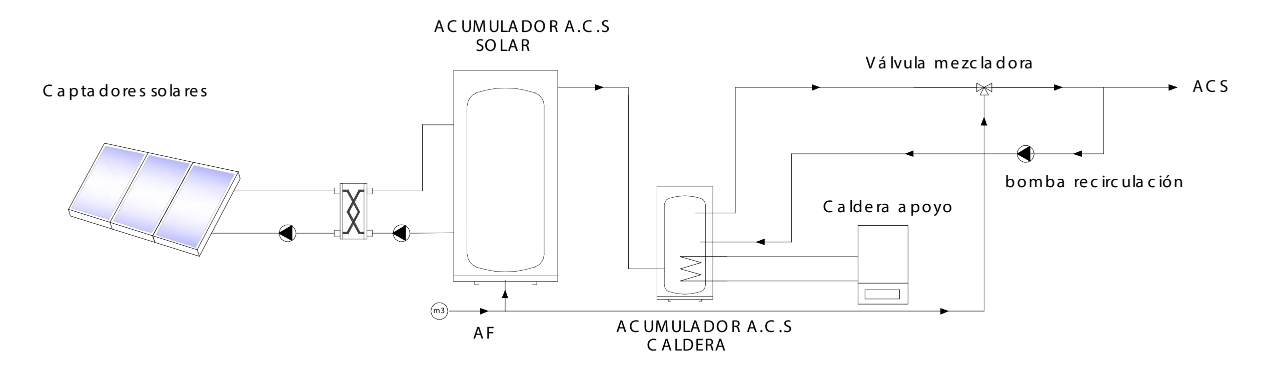


Figura 27. Sistema por acumulación a distancia con apoyo mediante acumulación por caldera

En la figura 27 vemos el sistema de acumulación donde el sistema de apoyo es mediante un acumulador calentado mediante una caldera de apoyo. En este caso se ha instalado un sistema de recirculación, que se explicará en el punto siguiente.

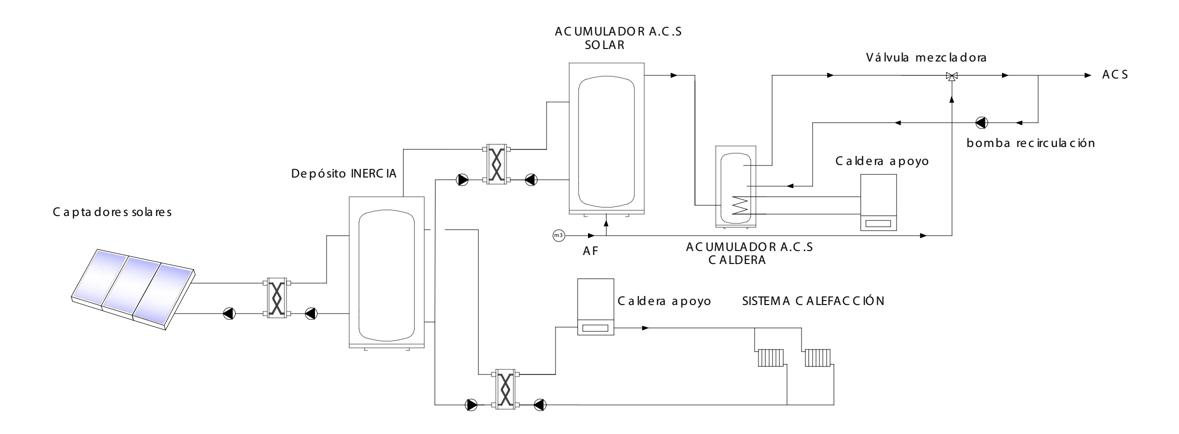


Figura 28. Sistema por acumulación a distancia con depósito de inercia y apoyo al sistema de calefacción mediante energía solar

En la figura 28 vemos la instalación de un depósito de inercia. En este caso almacenamos la energía solar en un depósito que no contiene el agua de consumo, por lo que se eliminan los problemas de legionela que pudieran darse en esta parte de la instalación. Adicionalmente presenta la ventaja que se puede realizar un apoyo al sistema de calefacción con facilidad, tal y como se muestra en el esquema representado. La instalación de depósitos de inercia es habitual en grandes instalaciones individuales, existiendo multitud de esquemas de principios realizados con estas configuraciones. Otra ventaja adicional del depósito de inercia respecto a un depósito de agua caliente sanitaria es que su coste económico es considerablemente inferior. Esto se debe a dos circunstancias, la primera es que al no contener agua potable en su interior se pueden utilizar materiales más económicos en su fabricación, y al ser un circuito cerrado este depósito no presenta los problemas de corrosión que tienen los depósitos de ACS. Adicionalmente, los depósitos de inercia se diseñan para presiones de trabajo inferiores a los de ACS, pues al ser circuitos cerrados no necesitan funcionar a las presiones de distribución necesarias en los depósitos de ACS.

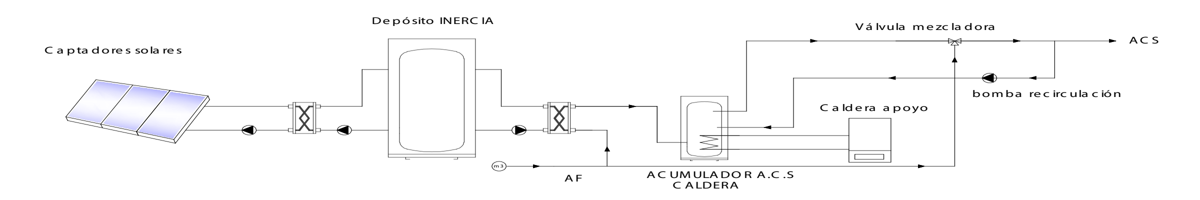


Figura 29. Sistema por acumulación a distancia con depósito de inercia y apoyo al sistema de calefacción mediante energía solar

En la figura 29 mostramos una variante al mostrado en el caso anterior. En este caso la producción de energía solar se produce instantáneamente en un intercambiador de placas, no existiendo ningún depósito de almacenamiento de energía solar térmica. En este caso hemos instalado un sistema de apoyo mediante un interacumulador calentado con una caldera de apoyo.

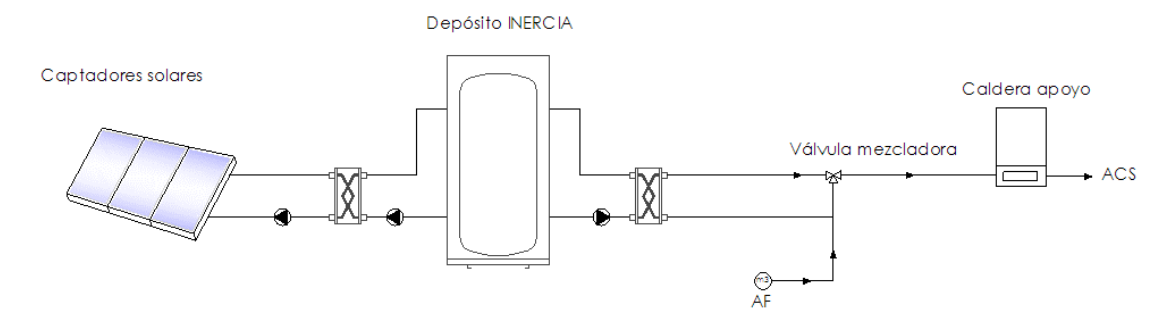


Figura 30. Sistema por acumulación a distancia con depósito de inercia y apoyo con producción instantánea

En la figura 30 mostramos un sistema con la acumulación de la energía solar mediante un depósito de inercia y un sistema de apoyo mediante una caldera de producción instantánea. La ventaja principal de este sistema es que evita todos los problemas que conlleva la legionela, pero presenta el inconveniente de disminuir ligeramente el rendimiento al necesitar de dos intercambiadores de placas.

4.3.3. *Esquema de funcionamiento de la recirculación*

En instalaciones donde el punto más alejado de consumo se encuentre a más de 15 m del punto de preparación, el documento del código técnico de la edificación HS-4 en su punto 2.3 indica la obligatoriedad de la instalación de un sistema de recirculación para ahorrar agua y mejorar el confort de las instalaciones.

Cuando tenemos circuitos de distribución largos, se hace necesaria la instalación de una bomba de recirculación que mantenga todo el circuito de distribución caliente y garantice la disponibilidad inmediata en el punto más alejado del sistema de preparación.

La bomba de recirculación aumenta el confort de la instalación, y causa un ahorro de agua, pero conlleva un aumento del consumo energético.

En instalaciones donde el horario de uso sea conocido, se recomienda que se temporice la bomba de modo que solo funcione en el horario que sea necesaria. Esto sucede normalmente en instalaciones individuales de viviendas, en este caso el usuario puede fijar un horario con el consiguiente ahorro económico que se produce.

En la figura 29 se muestra en el esquema de principio la instalación de una bomba de recirculación.

4.4. Instalaciones centralizadas.

En las instalaciones de viviendas comunitarias es habitual que por problemas de espacio o porque tenemos edificios altos no es posible la realización de instalaciones individuales. Existen multitud de variantes que podemos realizar para dotar a las viviendas individuales del apoyo solar necesario. Mostramos a continuación los principales.

4.4.1. *Captación y acumulación comunitaria con apoyo en viviendas*

En la figura 31, observamos un esquema de distribución donde realizamos una acumulación solar central comunitaria y distribuimos agua caliente a la temperatura que nos permite el sistema solar, instalando una caldera de apoyo en cada una de las viviendas para que cuando la temperatura del sistema solar sea insuficiente pueda elevar la temperatura hasta las condiciones de utilización.

En este caso se hace necesario la instalación de un contador de agua comunitario y un contador de agua individual por cada suministro de agua caliente, para repartir los consumos de agua de cada usuario.

En este sistema también se hace necesario la instalación de una válvula mezcladora y una bomba de recirculación de modo que el montante se mantenga siempre caliente, y el usuario individual tenga disponibilidad de servicio inmediata independientemente de lo alejado que esté del acumulador solar.

Los principales inconvenientes que presenta esta instalación son las pérdidas energéticas que presenta el montante por mantenerse continuamente a la temperatura de suministro y que la distribución de energía solar no se produce de forma uniforme entre los usuarios. En este sistema, en épocas invernales de poca producción, puede suceder que la energía solar disponible se agote por la tarde, y por lo tanto los usuarios que realicen los consumos a primera hora del día de forma habitual se beneficiaran en menor medida que aquellos que realicen sus consumos en horas con disponibilidad de energía.

Adicionalmente este sistema es susceptible de legionela en el acumulador y distribución solar, debiendo disponerse de los medios para poder realizar los tratamientos pertinentes.

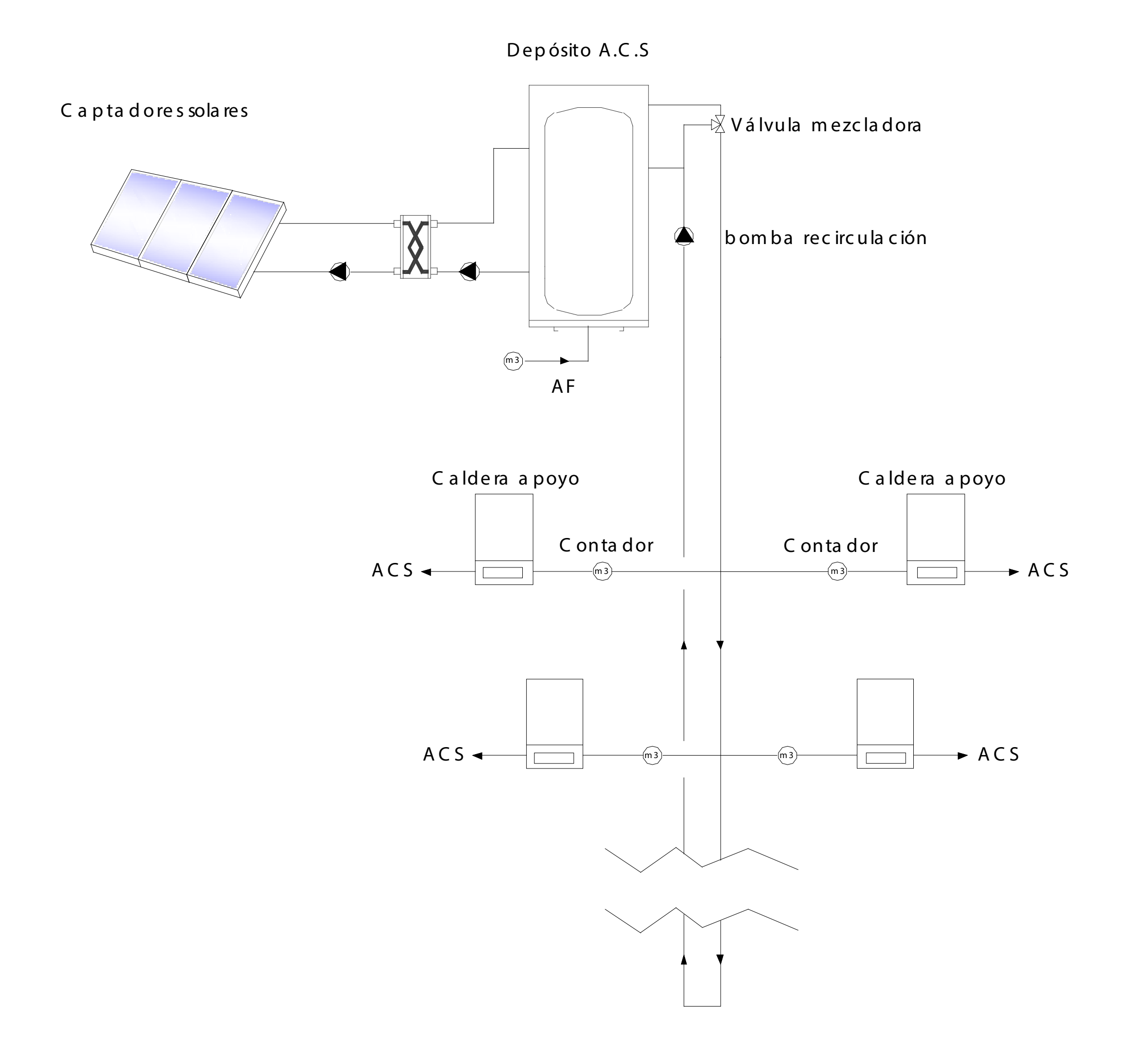


Figura 31. Sistema con por acumulación comunitaria y apoyo con caldera en viviendas

4.4.2. *Captación comunitaria con acumulación distribuida y apoyo en vivienda*

Una variación que podemos introducir en el sistema anterior es la instalación de interacumuladores en el interior de cada vivienda, mostrado en la figura 32. En este sistema, la acumulación se realiza en el interior de cada vivienda, presentando la ventaja de una mejor distribución de la energía solar captada independientemente de los perfiles de uso horarios de cada usuario.

El principal inconveniente que presenta esta solución es el espacio necesario en el interior de la vivienda para el interacumulador, que en ocasiones puede ocasionar problemas de ubicación.

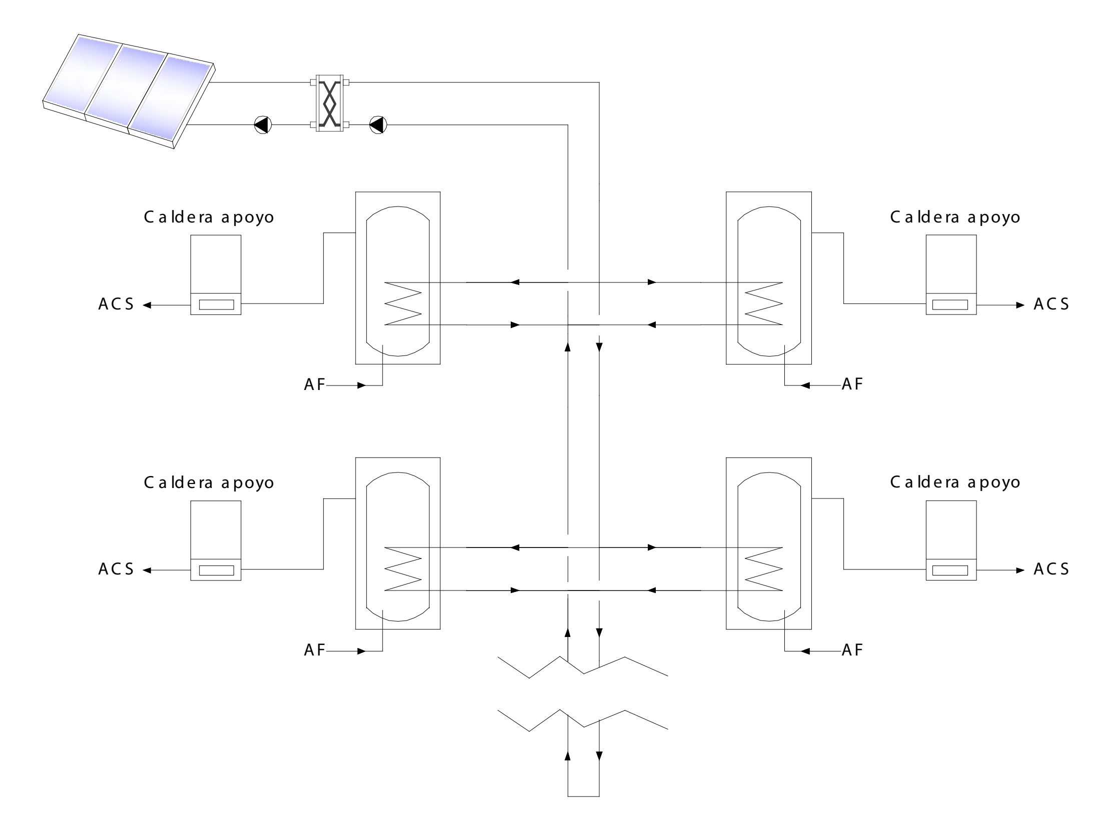


Figura 32. Sistema con por acumulación distribuida y apoyo con caldera en viviendas

4.4.3. *Captación comunitaria con intercambiador en el interior de la vivienda*

Una solución que elimina los problemas de la legionela asociados a la acumulación del ACS y ocupa menos espacio en el interior de las viviendas es el esquema de principio mostrado en la figura 33. Las ventajas de este sistema de distribución son el poco espacio ocupado por el intercambiador, que no existe posibilidad de problemas con la legionela, y que a nivel económico es un sistema muy competitivo. Los principales inconvenientes de este sistema es que se debe dimensionar correctamente el intercambiador, ya que este debe ser capaz de trabajar en producción instantánea.

En este sistema es importante considerar los gastos energéticos de mantener el montante caliente, y los gastos energéticos que conllevan los elevados caudales que tenemos en el montante y el correcto diseño de la red de tuberías del montante, que como consecuencia de la potencia que necesita transportar tendrá grandes dimensiones. Desde el punto de vista energético en muchas ocasiones no es el sistema más óptimo como consecuencia de lo comentado con anterioridad.

En este caso el consumo de agua de cada usuario se contabiliza con el contador de agua fría de la vivienda, siendo esto una ventaja frente a tener un contador de agua fría y un contador de agua caliente.

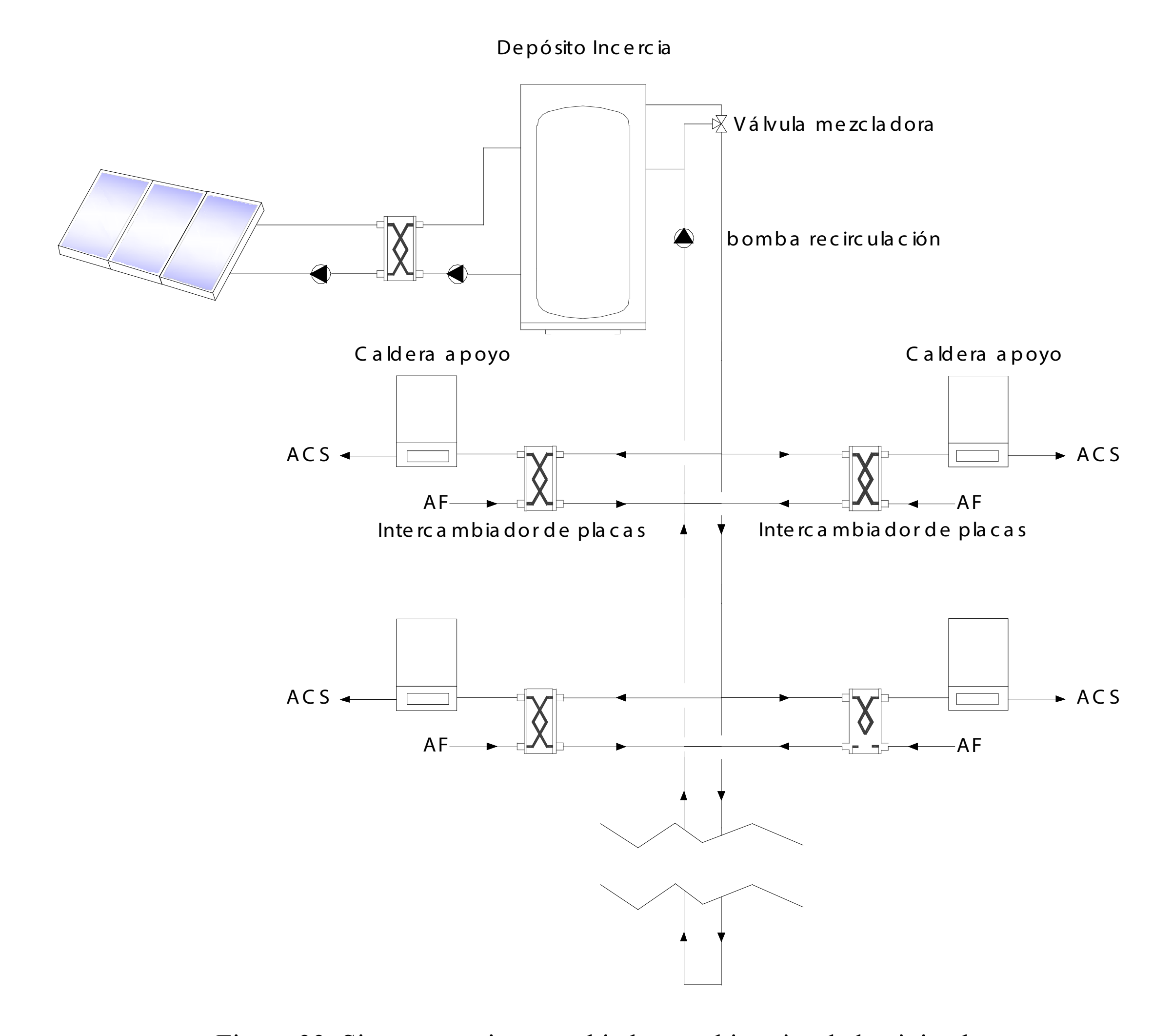


Figura 33. Sistema con intercambiador en el interior de la vivienda

4.4.4. *Captación, acumulación y sistema de apoyo comunitario*

Una solución muy competitiva desde el punto de vista del mantenimiento de las instalaciones, con un coste inicial bajo y un muy buen rendimiento energético son las instalaciones con captación y acumulación comunitarios como mostramos en la figura 34. En este caso el usuario recibe el agua caliente a la temperatura de utilización, y dispone de un contador de agua caliente para contabilizar los consumos.

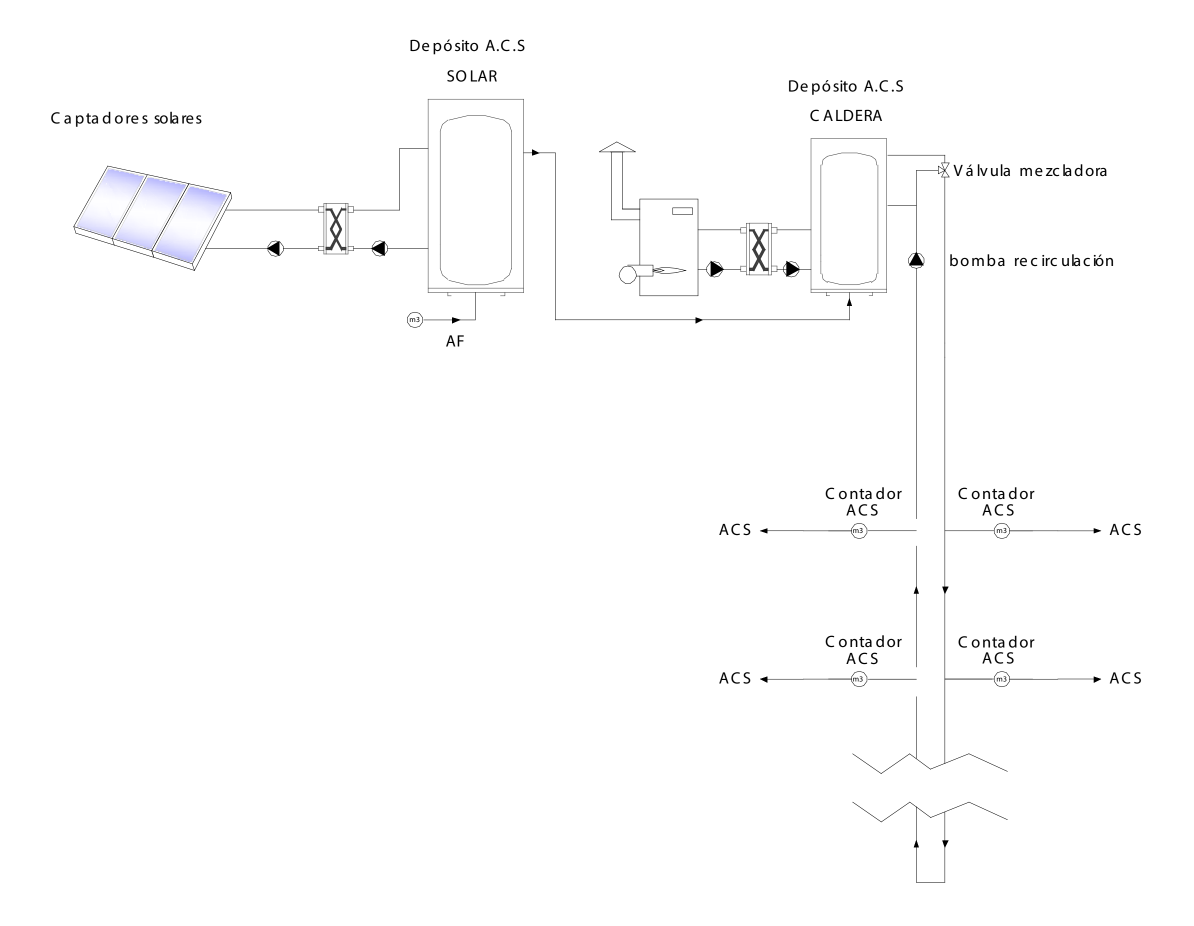


Figura 34. Sistema con distribución de agua a la temperatura de consumo

En este sistema se puede optimizar y alcanzar altos rendimientos en el sistema de producción, y como se centraliza el consumo de la energía de apoyo se pueden lograr contratos con las compañías suministradoras más competitivos. Adicionalmente, este sistema en determinados lugares puede utilizar con facilidad como combustible de apoyo la biomasa, e incluso integrar con pequeñas modificaciones el sistema de calefacción del edificio.

Respecto a las desventajas que presenta este sistema son principalmente dos, la primera es los problemas que ocasionan sobre el resto de usuarios el impago de alguno de ellos, que en algunas ocasiones desincentiva el uso de este tipo de sistemas y el bajo rendimiento que puede presentar en edificios de ocupación baja. Este sistema consume energía aunque no exista demanda, pues los costos energéticos de mantener la instalación en disposición de servicio no son evitables, y no dependen de la demanda.

Una modificación en el sistema anterior es la introducción de depósitos de inercia tal y como mostramos en la figura 36. Este sistema permite la integración del apoyo solar a la calefacción tal y como hemos visto en las instalaciones individuales.

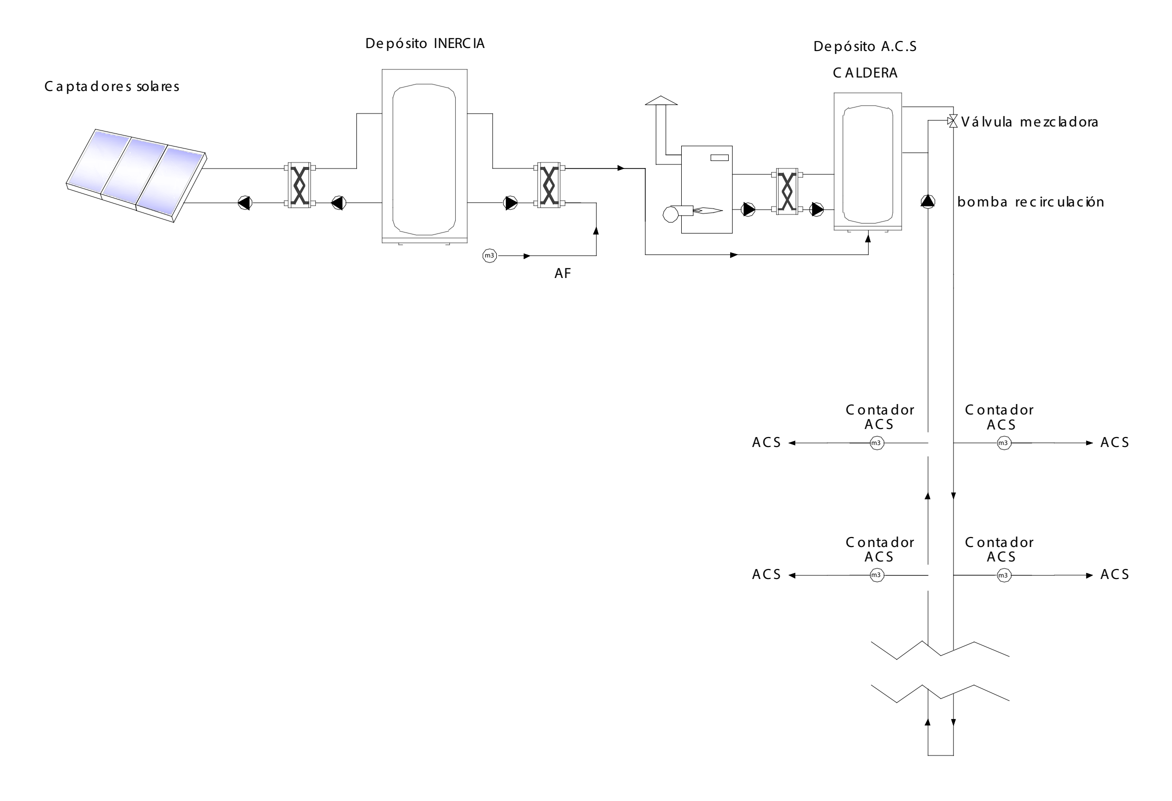


Figura 35. Sistema con depósito de inercia y distribución de agua a la temperatura de consumo

5. Proceso de cálculo de una instalación solar térmica mediante CHEQ4

En este apartado vamos a utilizar una herramienta informática desarrollada por el IDAE que nos permite acreditar el cumplimiento de las condiciones exigidas en el documento HE4 del código técnico de la edificación.

5.1. Localización

El primer paso para el cálculo de una instalación solar es indicar la localización de la instalación. El programa dispone de una base de datos con todas las provincias españolas y un gran número de los municipios. Al seleccionar la provincia y el municipio, el programa automáticamente nos seleccionará la zona climática, la latitud y altitud de la ubicación y los datos de radiación, temperaturas de agua de red y temperatura ambiente mes a mes. Podemos ver la pantalla de selección de la ubicación del programa en la figura 36.

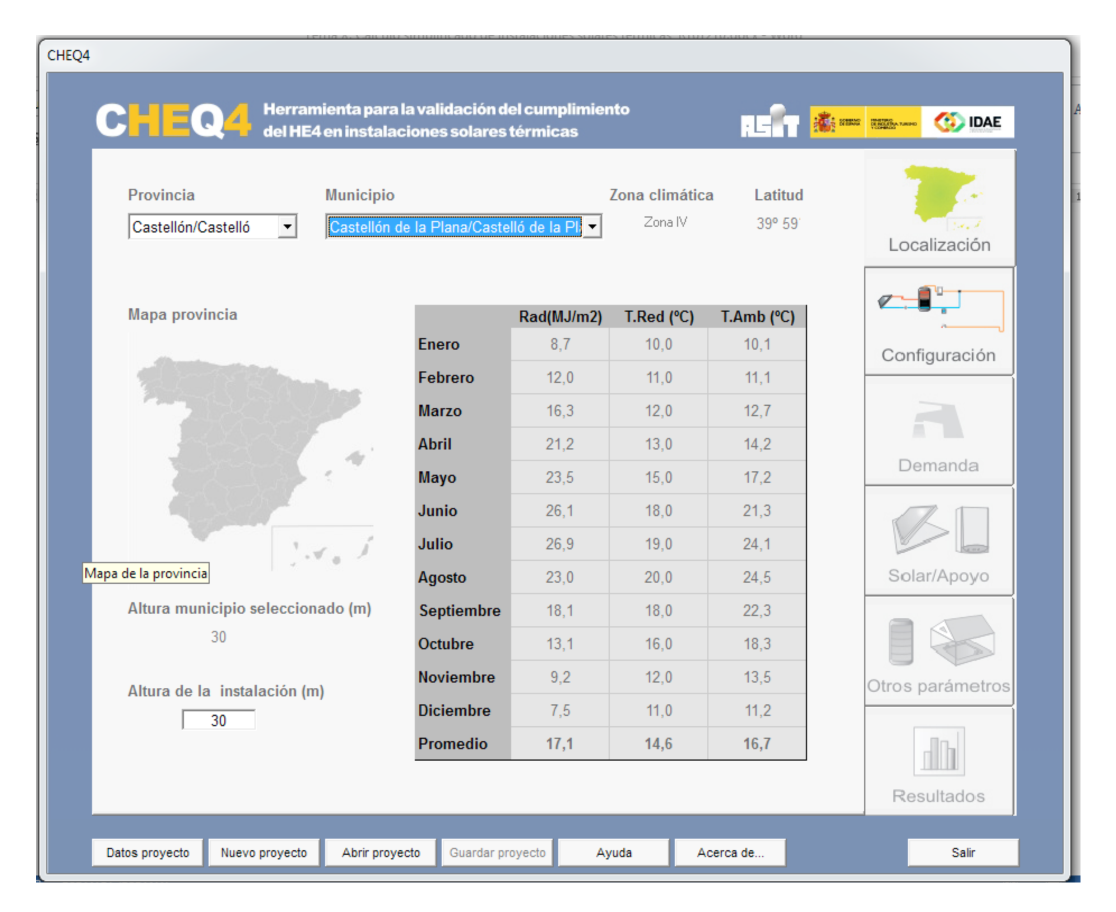


Figura 36. Selección de la ubicación en el CHEQ4. Versión 2.0. www.idae.es

5.2. Configuración

El segundo paso es seleccionar la configuración propuesta tal y como se muestra en la figura 37.

Tal y como podemos ver en la figura 37, las configuraciones que admite el programa están diferenciadas entre sistemas para consumo único y sistemas de consumo múltiple. Las configuraciones que admite el programa han sido estudiadas con detalle en los apartados anteriores y son las siguientes:



Figura 37. Selección de la configuración en el CHEQ4. Versión 2.0. www.idae.es

Consumo único:

Instalación con sistema prefabricado. Selecciona la instalación de captación por termosifón con acumulador incorporado.

Instalación con interacumulador. Utiliza un interacumulador para el almacenamiento de la energía solar.

Instalación con intercambiador independiente. Utiliza un intercambiador de placas y un acumulador para el almacenamiento de la energía solar.

Instalación con intercambiador y piscina cubierta. En este caso es similar al caso anterior, pero incorpora el apoyo solar a una piscina cubierta.

Consumo múltiple:

Instalación con todo centralizado. Es el sistema donde distribuimos el agua a temperatura de utilización. En este caso la acumulación solar y el apoyo se realizan de forma centralizada.

Instalación con acumulación centralizada y apoyo distribuido. En esta instalación el sistema de acumulación solar está centralizado y el apoyo distribuido para cada usuario.

Instalación con acumulación distribuida. En este caso la acumulación se realiza mediante la instalación de un interacumulador en el interior de cada una de las viviendas.

Instalación con intercambio distribuido. En este caso la acumulación se produce en un depósito de inercia e instalamos un intercambiador en cada una de las viviendas.

Las ventajas e inconvenientes de estos sistemas, así como la descripción detallada se ha producido en el punto 4.

5.3. Demanda

En la figura 39, se muestra como introducir la demanda en el programa CHEQ4. En caso de en la pantalla anterior hallamos seleccionado consumo único o consumo múltiple nos cambiara ligeramente el modo de introducir los datos para en función de la tabla mostrada en la figura 38 calcular la demanda.

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterias	1	Por persona

Figura 38. Demanda de referencia a 60 ºC según CTE – HE-4

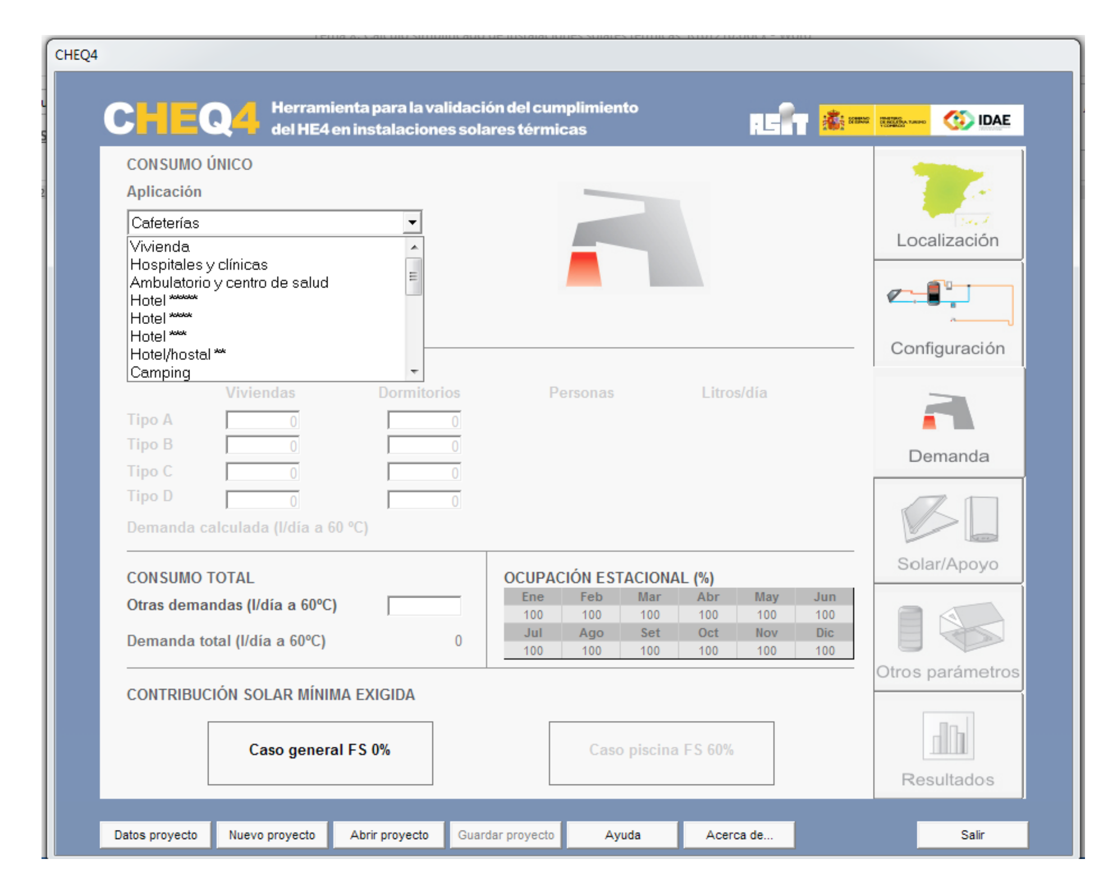


Figura 39. Selección de la demanda en el CHEQ4. Versión 2.0. www.idae.es

En el caso que seleccionemos consumo múltiple nos solicitará que introduzcamos cuantas viviendas y con qué número de dormitorios tiene nuestro edificio para según las tablas mostradas en las figuras 40 y 41 del documento HE del CTE, poder calcular el número de personas del edificio y mediante la tabla mostrada con anterioridad en la figura 38 proceder a calcular los litros/día que necesita nuestra instalación.

Tabla 4.2. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Figura 40. Calculo de ocupación en viviendas según CTE – HE-4

Tabla 4.3. Valor del factor de centralización

Nº viviendas	N≤3	4≤N≤10	11≤N≤20	21≤N≤50	51≤N≤75	76≤N≤100	N≥101
Factor de centralización	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

Figura 41. Factores de centralización según CTE – HE-4

Finalmente, en función de la demanda y de la zona climática nos indicará la contribución solar mínima exigida según del documento HS-4 del CTE. Esta contribución solar mínima se basa en las tablas del HS-4 del CTE mostradas en las figuras 42 y 43.

Tabla 2.1. Contribución solar mínima anual para ACS en %.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
> 10.000	30	50	60	70	70

Figura 42. Calculo de la contribución solar mínima según CTE – HE-4

Tabla 2.2. Contribución solar mínima en %. Caso Climatización de piscinas cubiertas

	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
Piscinas cubiertas	30	30	50	60	70

Figura 43. Calculo de la contribución solar mínima en piscinas cubiertas según CTE – HE-4

En la figura 44 podemos observar un caso práctico de selección:

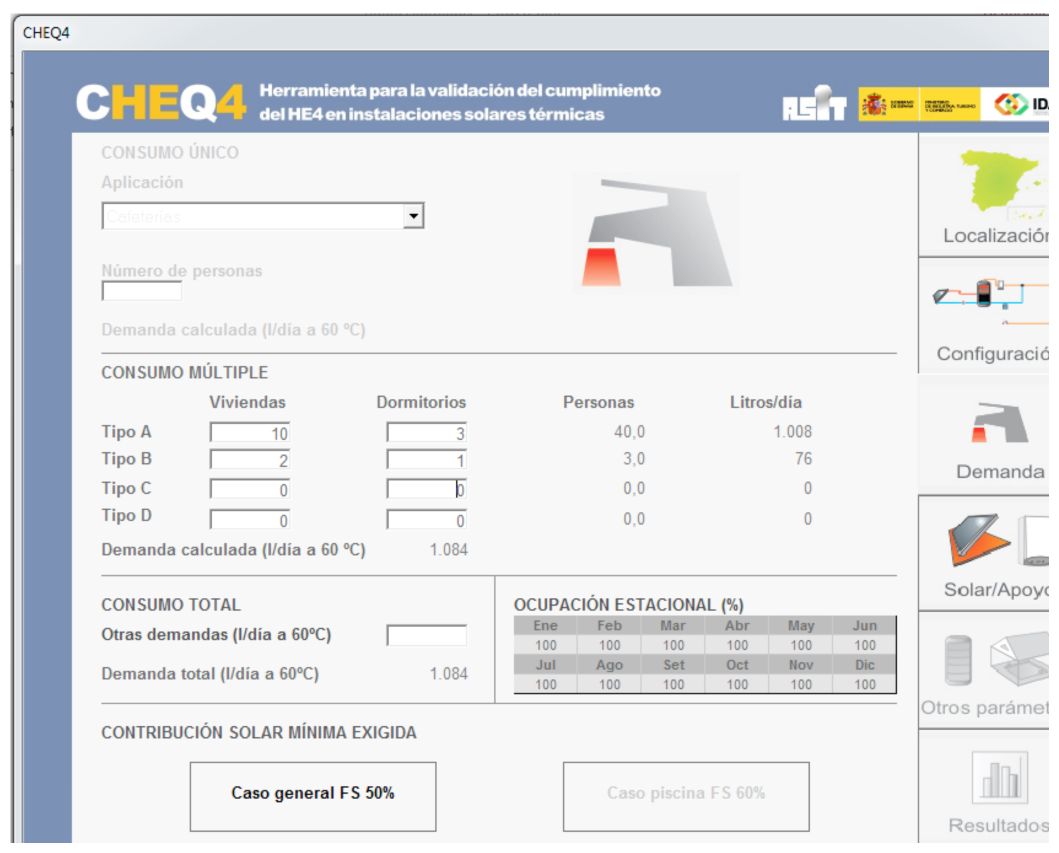


Figura 44. Selección de la demanda en el CHEQ4. Versión 2.0. www.idae.es

5.4. Solar/apoyo

En la siguiente pantalla debemos elegir un fabricante y modelo de captador. Los fabricantes han suministrado los datos de ensayo de sus captadores y la certificación, de modo que el CHEQ4 tiene una amplia base de datos con distintos fabricantes y modelos que nos facilitan obtener los datos reales. Podemos ver la selección en la figura 45.

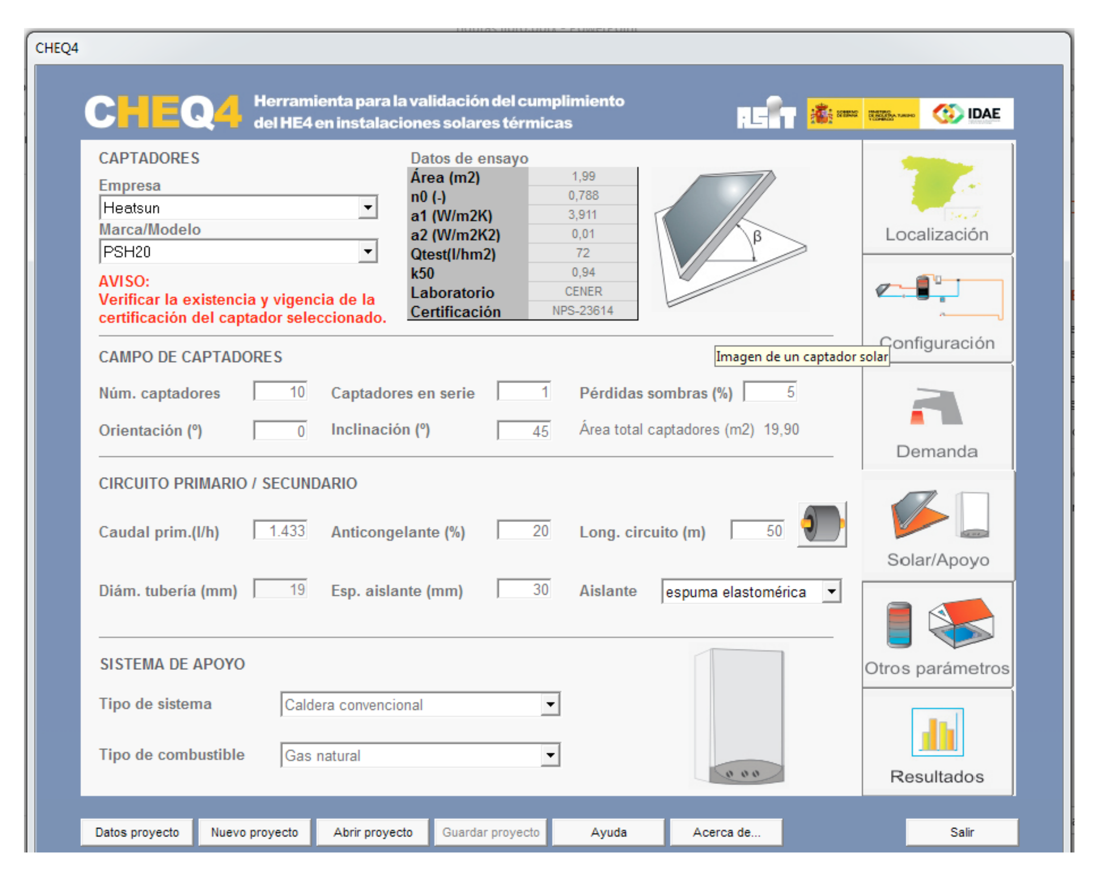


Figura 45. Selección del sistema solar y de apoyo en el CHEQ4. Versión 2.0. www.idae.es

Una vez seleccionado los captadores nos solicita que introduzcamos el número de captadores que tiene nuestra instalación. En caso de que lo desconozcamos porque estamos realizando el diseño, deberemos realizar un proceso iterativo manual para obtener la solución que cumpla el apoyo solar buscado.

Es importante matizar cuando nos pide el número de captadores en serie que este parámetro tiene una fuerte influencia sobre el rendimiento de los captadores, y las configuraciones mostradas en la figura 46, son configuraciones en paralelo, aunque aparentemente pueda parecer que están en serie. Un montaje en serie es aquel en el que la salida de un colector se conecta con la entrada del siguiente.

Otros datos importantes que nos solicita el programa son el porcentaje de pérdidas por sombras, que deberemos calcular manualmente con otro programa, el porcentaje de anticongelante, la longitud del circuito primario, diámetros de tuberías y

espesores y características de los aislantes. Estos datos el programa los utiliza para estimar las pérdidas térmicas que tendrá nuestro sistema, pero no realiza ninguna consideración sobre cálculos hidráulicos, con lo que tenemos que tener precaución de calcular correctamente estos diámetros o tendremos serios problemas en la instalación.

Por último, con objeto de calcular las emisiones de CO_2 que tendrá nuestro sistema nos solicita el tipo de sistema y el tipo de combustible.

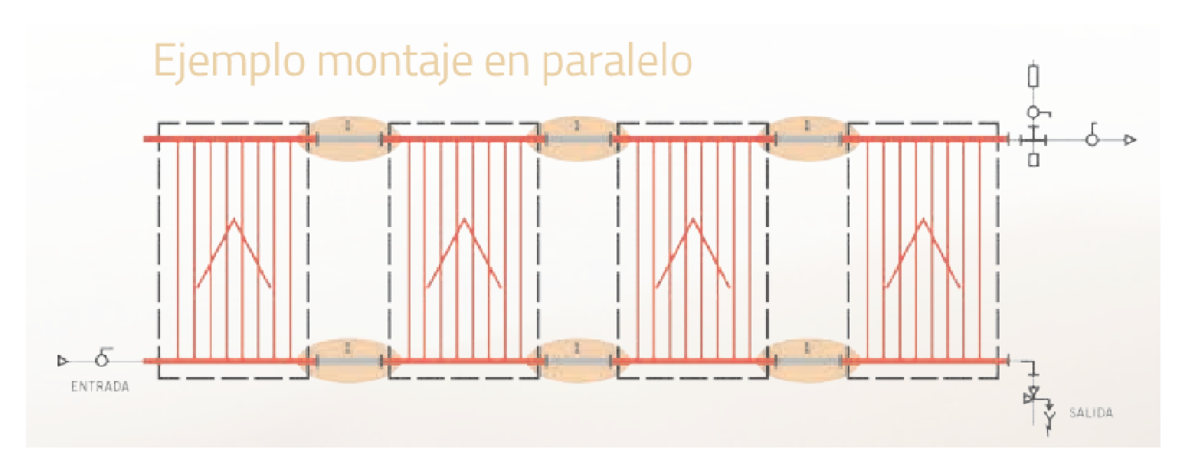


Figura 46. Ejemplo de montaje en paralelo. Catalogo TERMOCLUB 2016

5.5. Otros parámetros

En la figura 47 mostramos los datos solicitados en la pestaña «otros parámetros».

Esta pantalla nos solicita datos sobre tres características de la instalación. En primer lugar nos solicita el volumen de acumulación, ya sea en un único acumulador o en acumulación distribuida, y debe cumplirse según se especifica en el punto 2.2.5 del HE4 del CTE la siguiente expresión:

$$50 < V/A < 180$$

Donde,

A = suma de las áreas de los captadores en m^2

V = Volumen de la acumulación solar en litros

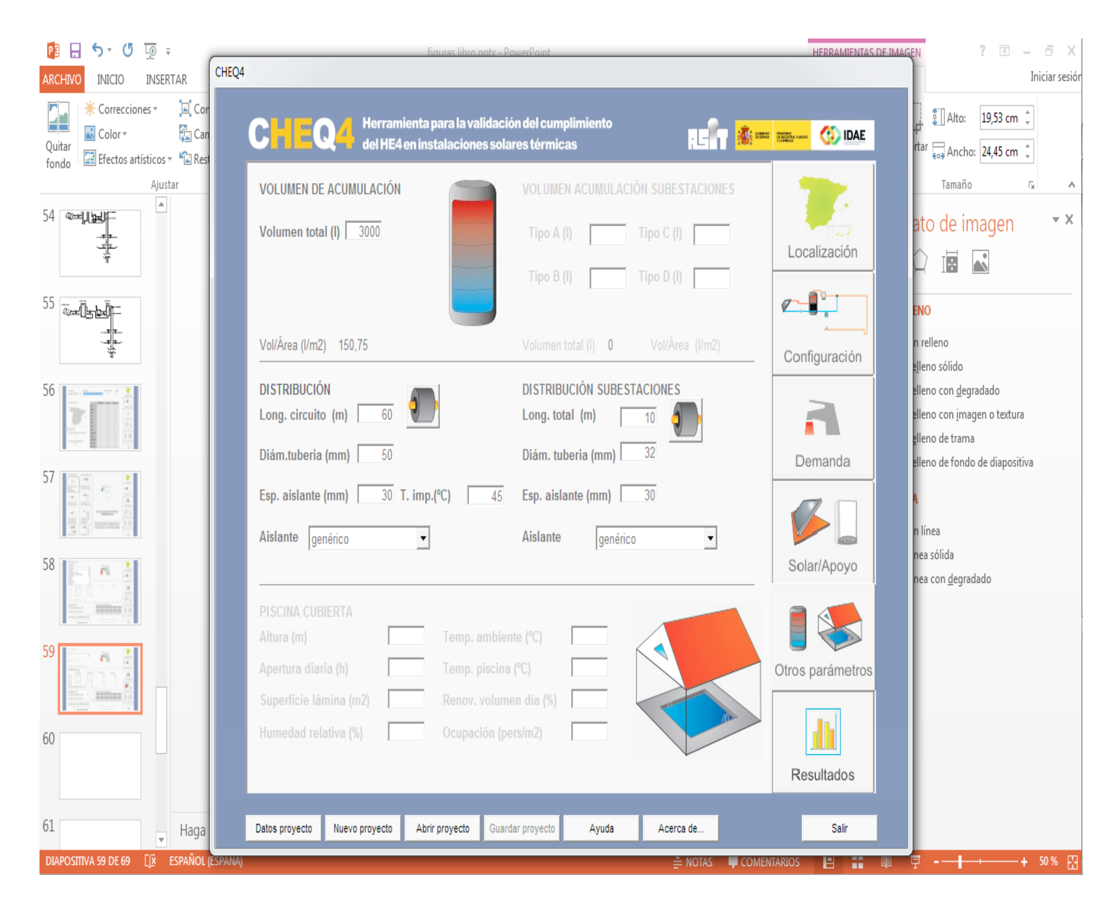


Figura 47. Selección otros parámetros en el CHEQ4. Versión 2.0. www.idae.es

En segundo lugar, nos solicita la temperatura de distribución, longitudes, diámetros, espesores de aislamiento y características del aislante térmico para el circuito de distribución principal y el circuito desde el circuito principal a las subestaciones. Con estos datos se calculan las perdidas térmicas, pero al igual que en el caso anterior el programa no realiza ninguna comprobación hidráulica, por lo que si estamos diseñando la instalación debemos tener precaución en este aspecto. No hay que olvidar que el CHEQ4 es un programa de VERIFICACIÓN, no de diseño.

Por último, en caso de que tengamos un suministro individual con una piscina cubierta nos solicita los datos necesarios para realizar una simulación del comportamiento térmico de esta. Es muy importante matizar que el cálculo de una piscina es uno de los proyectos más complejos que podemos encontrar en climatización, ofreciendo el programa una forma muy simplificada de calcular las necesidades térmicas de una piscina, pero que debemos calcular con un proyecto específico para poder validad con mayor precisión.

5.6. Resultados

Por último, obtenemos la pantalla de resultados. En esta pantalla la mostramos en la figura 48 y en primer lugar nos indica si cumplimos o no con los requerimientos

solares mínimos exigidos por el documento HE4 del CTE. En este punto nos da la posibilidad de imprimir el certificado de cumplimiento, para poder adjuntarlo en la documentación de proyecto.

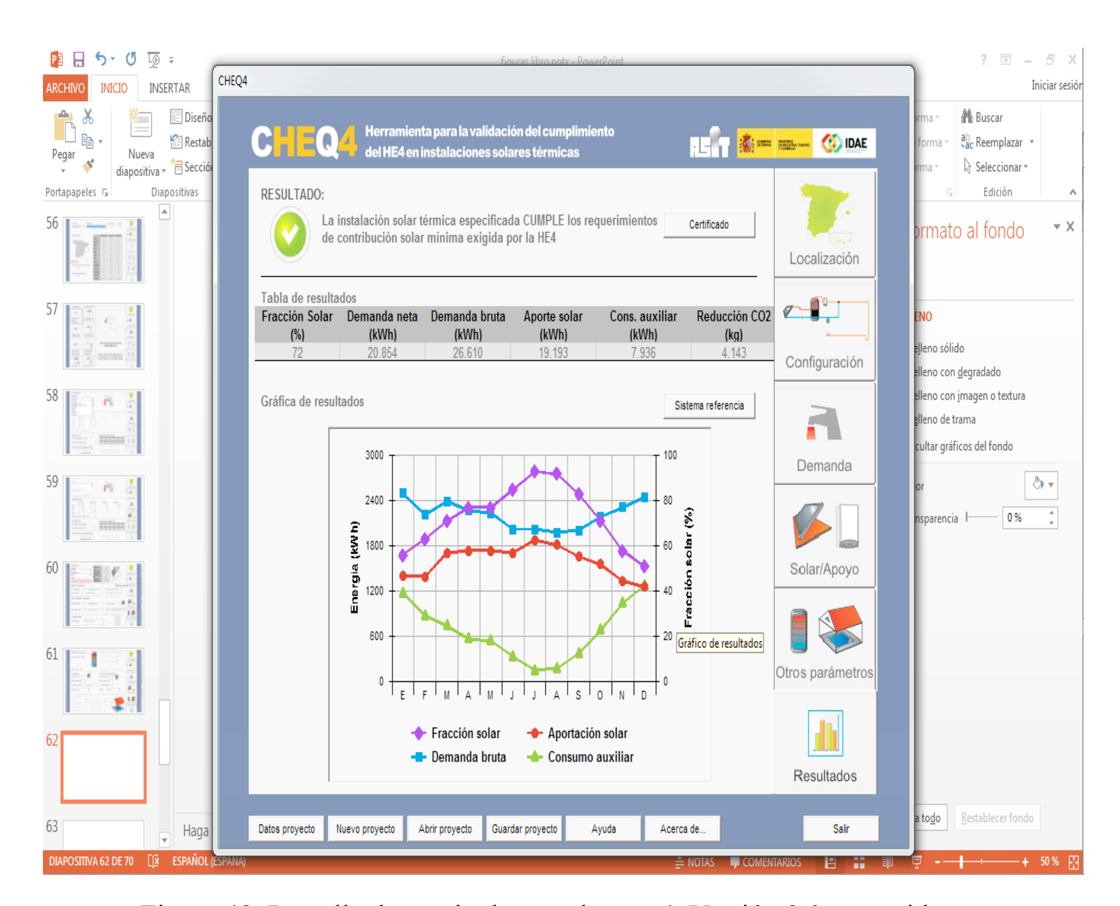


Figura 48. Pantalla de resultados en el CHEQ4. Versión 2.0. www.idae.es

Posteriormente nos indica una tabla de resultados donde nos muestra anualmente la demanda neta de nuestro sistema de ACS, la demanda bruta considerando las pérdidas del sistema, el aporte solar conseguido, la energía aportada por el sistema de apoyo y los kg de CO_2 ahorrados como consecuencia de la instalación del sistema solar.

Por último, nos muestra una gráfica donde podemos ver mes a mes los datos anteriores.

6. Autoevaluación

1. Realice un esquema con la clasificación de los distintos tipos de captadores.

2. Explique el funcionamiento de un tubo de vacío mediante flujo directo.

3. Explique el funcionamiento de un tubo de vacío con tubo de calor.
4. Explique el funcionamiento de un colector solar plano.
5. Explique los diferentes componentes de un colector solar plano.
6. Explique el funcionamiento de un sistema de acumulación de energía solar por termosifón.
7. Explique el funcionamiento de un sistema de energía solar con acumulación a distancia.
8. Explique qué es y para que se utiliza la bomba de recirculación.
9. Explique la diferencia entre un acumulador y un interacumulador.
10. Explique el funcionamiento de un sistema de producción centralizada para múltiples usuarios. Explique los distintos esquemas de funcionamiento existentes.
11. Explique el funcionamiento de un sistema de producción centralizada para un único usuario. Explique los distintos esquemas de funcionamiento existentes.

7. Bibliografía

Gra mmer Solar. Página web: http://gra mmer-solar.com/. Email contacto info@grammer-solar.es

Helioteck, grupo BOSH. web www.helioteck.com.br

Zabalza, A. Aranda, S. Scarpellini, E. Sastresa, A. Martínez, *Las energías renovables en Aragón*. Confederación de Empresarios de Aragón, Caja de Ahorros de la Inmaculada, Consejo Aragonés de Cámaras Oficiales de Comercio e Industria, Zaragoza, 2009.

www.codigotecnico.org . Ministerio de Fomento.

TEMA 8. Consideraciones económicas de la Eficiencia Energética

1. Introducción

En la actualidad ya no se pone en duda la conveniencia de aplicar medidas destinadas a mejorar la eficiencia energética en los edificios y, por tanto, a contribuir en la reducción de las emisiones de carbono. Sin embargo, frecuentemente, aquellas medidas que contribuyen en mayor medida a la mejora de la eficiencia energética, son también las más costosas desde el punto de vista económico. Este hecho pone en peligro la viabilidad de su implementación. Por ejemplo, unas carpinterías de aluminio con rotura de puente térmico, con un triple acristalamiento, pueden ser idóneos como solución si se atiende a la disminución de su transmitancia, sin embargo, su coste puede no ser asumible por el propietario del inmueble. En este punto es conveniente contemplar las medidas de mejora de la eficiencia energética como si se tratara de una inversión; es decir, que si asumimos que un propietario dispone del dinero y desembolsa una cantidad importante de dinero para cambiar sus carpinterías, debe conocer si, al menos, la reducción de su factura energética, le hará recuperar la inversión inicial.

En general, en la teoría económica, se conocen dos formas de hacer un cálculo de análisis económico: el análisis estático y el análisis dinámico.

En el punto de vista estático, no se tiene en cuenta el momento del tiempo en el que se incurre en ingreso o gasto. Esta perspectiva es de aplicación más sencilla y puede ser adecuada para inversiones a corto plazo.

Un indicador de fácil cálculo y que puede ser de ayuda en la selección de una u otra medida, será un ratio que cuantifique el ahorro energético o la reducción de emisiones por euro de inversión.

También se puede calcular mediante el periodo de recuperación de la inversión, que es el número de años (o periodos económicos) que sería necesario para la recuperación de la misma. Resulta muy útil cuando se quiere realizar una inversión de elevado coste, ya que de esta forma tenemos una idea del tiempo que tendrá que pasar para recuperar el dinero que se ha invertido. Este dato puede ser de utilidad para la toma de decisiones a la hora de comparar distintas medidas de mejora energética, si bien es un enfoque muy simplista.

En el punto de vista dinámico sí se tiene en cuenta el momento del tiempo en que tiene lugar cada ingreso y cada gasto. Esta forma es más adecuada cuando se analizan inversiones a largo plazo y hablamos de varios periodos económicos. Un indicador muy utilizado es el Valor Actual Neto (VAN). El VAN, (en inglés, NPV, de *Net Present Value*), que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja (*cash-flow*) futuros, originados por una inversión. Es un método de análisis de inversión y se obtiene sumando a la inversión inicial (con signo negativo) todos los flujos de caja actualizados a una determinada tasa de actualización. La expresión para calcular el Valor Actual Neto es:

$$\mathrm{VAN} = \sum_{i=1}^{n} \frac{V_i}{(1+r)^i} - I_0$$

Ecuación 1. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)

Siendo,

V_i, los flujos de caja en los distintos periodos *i*

r, la tasa de actualización

I_o, la inversión inicial

En general, para una rentabilidad exigida determinada, si el VAN es positivo, el proyecto puede aceptarse, si es negativo, no. Una empresa puede comparar diferentes alternativas para comprobar si un proyecto le conviene o no. Normalmente la alternativa con el VAN más alto suele ser la mejor, aunque no siempre tiene que ser así. A un inversor le puede interesar un proyecto con un VAN más bajo debido a otras razones como podrían ser la imagen que le aportará a la empresa o por otros motivos estratégicos.

Ante un paquete de medidas de mejora energética, el cálculo del VAN puede ayudar a la toma de decisiones, al analizar cuáles de las medidas implementadas recuperan más rápidamente la inversión. Además, cuando hablamos de edificios, no podemos hablar exclusivamente de costes de inversión iniciales, y la consideración del VAN puede integrar en el cálculo los costes de todo tipo en los que se incurre durante la vida útil del edificio. Hay que tener en cuenta que los edificios son productos de prolongada vida útil y que, durante la misma, requieren de operaciones de mantenimiento, reemplazamiento de ciertos elementos, etc.

2. El método del coste óptimo

A nivel normativo, el análisis económico de las medidas de mejora de la eficiencia energética, es un aspecto que ha sido tratado más tarde que otros. La Directiva EPBD del 2002 no lo consideraba, sin embargo, su actualización, la EPBD de 2010, disponía, en su Anexo III, que se desarrollara un método para analizar la costo-eficiencia

de las medidas de mejora de la eficiencia energética en los edificios. Esta metodología se ha desarrollado a nivel europeo, a través del Reglamento Delegado 244/2012 de la Comisión, de 16 de enero de 2012, que desarrolla una metodología que permite comparar y calcular la mejor rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de los elementos que lo componen y cuya base de cálculo es el VAN. El documento Directrices que acompañan al Reglamento Delegado (UE) 244/2012 de la Comisión, de 16 de enero de 2012, que complementa la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética de los edificios, establece un marco metodológico comparativo para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos y hace un análisis de los tipos de costes.

Para el cálculo de costes desde el punto de vista del RD244/2012, se dan dos opciones:

- *Enfoque Financiero*: solo contempla costes privados, es decir, la suma de la inversión inicial, los costes anuales de funcionamiento, costes de eliminación, de mantenimiento y de sustitución. En este caso debe considerarse los impuestos aplicables a cualquier tipo de coste.

- *Enfoque Macroeconómico*: Contempla los costes privados y también los sociales o públicos. Como costes privados se consideran los mismos que en el análisis financiero, es decir, desde el punto de vista del inversor privado. Como costes sociales, se analizan los costes derivados de las emisiones de GEI, representados por las emisiones de CO_2 relacionados con el consumo energético de un edificio. El Reglamento da unos valores del CO_2 estimativos de referencia, a partir del mercado de emisiones ETS (*Emissions Trade Scheme*), único mercado existente donde se pueda aplicar un valor al CO_2.

El Reglamento Delegado 244/2012 indica que se debe calcular lo que denomina *Coste Global*. La definición de este concepto es *la suma del valor actual de los costes de inversión inicial, de los costes de funcionamiento y de los costes de sustitución (con referencia al año inicial), así como en su caso, de los costes de eliminación*. *Para el cálculo a nivel macroeconómico, se añadirá el coste de las emisiones de gases de efecto invernadero*.

La fórmula de cálculo en el RD 244/2012, es la siguiente expresión. Se muestra la fórmula cuando se contempla el punto de vista macroeconómico al incluir también el coste social representado por el coste del carbono:

$$C_{g(\tau)} = C_I + \sum_j [\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) R_d(i) + C_{c,i}(j)) - V_{f,\tau}(j)]$$

Ecuación 2. Cálculo del Coste Global

donde:

T,	período de cálculo.

$C_{g(T)}$,	costes global (referido al año inicial τ_0) a lo largo del periodo de cálculo.

C_I,	costes de la inversión iniciales de la medida o conjunto de medidas j.

$C_{a,i}(j)$,	coste anual durante el año i de la medida o conjunto de medidas j.

Cci(j),	es el coste del carbono de la medida o conjunto de medidas j durante un año i.

$V_{f,\tau}(j)$,	es el valor residual de la medida o conjunto de medidas j al final del periodo de cálculo (actualizado al año inicial $\tau_{0)}$.

$R_d(p)$,	es el factor de actualización aplicable al año i, basado en la tasa de actualización r, y es el número por el que se multiplica el flujo de tesorería registrado en un momento dado para obtener su valor equivalente en el momento inicial; este factor se deriva de la tasa de actualización. Se calcula con la formula siguiente:

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1 + {}^{r}/_{100}}\right)^p$$

Ecuación 3. Cálculo del Factor de Actualización

donde:

p,	es el número de años desde el año inicial

r,	es la tasa de actualización real que tomamos como referencia

Al ser una suma de costes es necesario calcular los diferentes tipos y tener en cuenta la tasa de actualización a aplicar. Estos conceptos se analizarán con mayor detenimiento en los siguientes subapartados:

- Coste inversión inicial
- Coste mantenimiento
- Coste eliminación
- Coste anual
- Coste de sustitución
- Coste de las emisiones de gases de efecto invernadero
- Tasa de actualización*:* valor definido que se utiliza para comparar en diferentes momentos el valor del dinero expresado en términos reales.

2.1. Coste de la inversión inicial

El Reglamento lo define como *todos aquellos que se realicen hasta el momento en que el edificio o el elemento del edificio se entregue, listo para su uso, al cliente; estos costes incluyen los derivados del diseño, la compra de los elementos, la conexión con los suministradores y los procesos de instalación y puesta en servicio.*

Su cálculo es relativamente sencillo por medio del Presupuesto de Ejecución por Contrata de cada una de las medidas de mejora. Para ello, al presupuesto de ejecución de obra (PEM) se le sumará un porcentaje en concepto de gastos generales y otro porcentaje de beneficio industrial (GG y BI), dando lugar al presupuesto ejecución por contrata (PEC).

2.2. Coste del mantenimiento

El Reglamento lo define como *costes anuales derivados de las medidas de conservación y restauración del nivel de calidad deseado para un edificio o para uno de sus elementos; esto incluye los costes anuales de las actividades de inspección, limpieza, ajuste y reparación, así como los de los productos consumibles*.

Incluiría los gastos de aspectos como las revisiones preceptivas de las calderas de gas, cada 5 años, en el caso de haberlas, mantenimiento de carpinterías de madera, limpiezas de bajantes, etc. Como referencia de las operaciones que se realizarían teóricamente en los años de vida útil del edificio podría tomarse como referencia las operaciones que se indican en el Libro del Edificio.

2.3. Coste de eliminación

Definido como los *costes de demolición de un edificio o de uno de sus elementos al final de su vida, lo que incluye los costes de demolición propiamente dichos, los de retirada de los elementos del edificio que no hayan llegado todavía al final de su vida útil, los de transporte y los de reciclado*. Tendremos que aplicarlo en el caso de que hayamos agotado la vida útil del edificio.

2.4. Coste anual

Es la *suma de los costes de funcionamiento y de los costes periódicos o de explotación pagados en un determinado año*. Estos incluirían los gastos por las facturas energéticas. Habría que conocer el tipo de energía empleado para servicio del edificio (electricidad, gas natural, biomasa, etc.) y el precio del mismo.

2.5. Coste de sustitución

Sería la inversión destinada a sustituir durante el período de cálculo un elemento de edificio de acuerdo con el ciclo de vida útil estimada. Por ejemplo, el cambio de una caldera, con una vida útil de unos 15 años, a lo largo de la vida útil del edificio, o los equipamientos de baños o cocinas. Este término de la ecuación requiere conocer las vidas útiles medias de los elementos integrantes del edificio. Es necesario establecer cuál es la vida útil del edificio y cuál es el momento de la sustitución de aquellas medidas que requieran ser reemplazadas más de una vez durante la vida útil del edificio. A este respecto, es difícil llegar a un acuerdo entre distintos autores sobre la duración real de un edificio. Se pueden ver en las ciudades edificios de más de un siglo perfectamente funcionales si se les ha hecho un mantenimiento y renovación adecuados. Algunos autores hablan de 100 años, otros de 50 años, etc. El RD 244/12 indica que se haga el cálculo a 30 años, atendiendo a una posible vida económica media del inmueble, es decir, el tiempo que un propietario podría residir en un mismo inmueble. Sin embargo, algunas de las medidas, como las de aislamiento térmico de la fachada, superan ese horizonte temporal, llegando a 50 años.

2.6. Coste de las emisiones de gases efecto invernadero

Solo aplicable en el caso de calcular el coste global, de acuerdo a la perspectiva macroeconómica. Se definiría como *el valor monetario de los daños medioambientales causados por las emisiones de* CO_2 *derivadas del consumo de energía de los edificios*. El Reglamento indica que, a falta de otras fuentes de información se podría adoptar el precio del CO_2 tomado del mercado de emisiones ETS (*Emissions Trade Scheme*), de acuerdo al RD244/2012, se cifra en:

- 20 €/tonelada hasta 2025
- 30 €/tonelada hasta 2030
- 50 €/tonelada desde 2030

Este, junto con el ahorro energético, es el único coste que irá a favor de la implementación de medidas de rehabilitación energética, es decir que supondrá un ahorro al usuario, más cuanto más eficiente energéticamente sea su edificio.

2.7. Tasa de actualización

Valor definido que se utiliza para comparar en diferentes momentos el valor del dinero expresado en términos reales. Respecto al tipo de actualización, de acuerdo al RD244/2012, se adopta un 3 % y, además, se incluirá un análisis de sensibilidad, tomando como mínimo otro tipo de actualización. El tipo de actualización es uno

de los factores más influyentes en los resultados finales, por lo que el análisis de sensibilidad permite de alguna manera reducir la incertidumbre que se genera al realizar este tipo de estimaciones, en las que se calcula en base a hipótesis de cómo se van a desarrollar los costes en un futuro. De esta manera, sabemos entre qué intervalos se moverá el resultado final en función del valor de la tasa utilizada.

2.8. Incertidumbres del cálculo

Los análisis económicos a largo plazo conllevan un gran número de incertidumbres sobre las que es conveniente reflexionar. El objeto del análisis en este caso es un elemento de gran complejidad como es un edificio, por la gran cantidad de elementos de diferente naturaleza que lo componen. Se pueden mencionar algunos aspectos que son objeto de interpretación como son:

El factor tiempo: se plantea la pregunta de a cuánto tiempo tenemos que hacer la estimación. El Reglamento sugiere que el horizonte temporal no sobrepase los 30 años. Este podría ser el periodo medio que un usuario podría utilizar un inmueble, aunque esto es muy variable y es un factor que podría tener hasta una influencia de tipo cultural. En España, un país donde el régimen de propiedad predomina sobre el de alquiler y donde la movilidad por trabajo es muy baja, comparando con otros países, el cambio de domicilio parece ser menos frecuente que en otros países. Si se opina que el tiempo de estimación debe ser superior por las circunstancias particulares del caso, el horizonte temporal podría ser diferente y justificarse.

Valores de emisiones y de energía: en un análisis previo se pueden observar los datos que arrojan los programas de certificación energética como el CE3X. Hay que tener presente que se trata de valores de simulación y no de condiciones reales. También se tendrá en consideración la forma en que el programa simula, es decir, si son cantidades totales o si se expresan por unidad de superficie y por año.

Los precios: en este tipo de estimación se está asumiendo de alguna manera que el coste de los materiales de construcción, de la mano de obra y de la energía, se incrementarán de la misma manera en el tiempo.

Parece razonable pensar que en un mundo en el que las fuentes de energía más empleadas son cada vez más escasas, aumente su precio de una manera más acusada que otros insumos como, por ejemplo, los materiales de construcción. Esta hipótesis, además, no parece tener en consideración el hecho del avance de las tecnologías. Probablemente la caldera que se instaló en el momento inicial será muy diferente a los 15 años o más a los 30 y generalmente se abaratan las tecnologías.

En cuanto al precio del CO_2, como se ha indicado anteriormente, los valores que indica el Reglamento corresponden al mercado ETS. Realmente en este mercado las emisiones que se contabilizan no corresponden a las emisiones de los edificios, sino a industrias altamente contaminantes. Sin embargo, es el único mercado en el que se negocia un precio de CO_2.

Por otro lado, si el análisis lo realizamos para comparar medidas de mejora entre sí, es decir, cuál sería más rápidamente recuperable y no tanto para conocer el valor exacto del momento de la recuperación, esta incertidumbre no tiene tanta importancia.

La tasa de actualización: estamos asumiendo que es constante cuando hay ciclos económicos. Los datos suelen adoptarse de acuerdo a datos históricos porque es imposible que conozcamos a ciencia cierta cómo se comportará en un futuro. La metodología salva en cierta manera este problema al proponer el análisis de sensibilidad.

Otros costes: podrían integrarse otros costes en los flujos de caja, tales como los impuestos que se asumirían desde la perspectiva financiera. También costes financieros si se solicitara una determinada ayuda o se recibiera algún tipo de subvención para la implementación de medidas de eficiencia energética.

Externalidades: al realizar un análisis económico de los costes en los que se incurre por la implementación de medidas de mejora de la eficiencia energética en edificios, frecuentemente ocurre que los gastos en los que se incurre no son compensados por los ahorros energéticos en un plazo más o menos razonable. En este punto es conveniente reflexionar acerca de que muchos aspectos no se están teniendo en cuenta en la consideración de los ahorros, precisamente por la elevada dificultad que entraña su cálculo. Es lo que se conoce como externalidades. Es el caso del CO_2 que se deja de emitir. En este caso se plantea la dudad de cómo se puede monetizar o asignar un precio a algo, como son las emisiones de CO_2. El Reglamento Delegado 244/12 da la única referencia que existe de mercado donde exista un precio de este tipo de bien, aunque no sea un mercado en el que exista una competencia perfecta, dados los intereses económicos y políticos y, además, como ya se ha comentado, no está relacionado estrictamente con la edificación, sino más bien con industrias altamente contaminantes. En esta línea, se podría pensar en otras muchas externalidades, por ejemplo, ¿cómo afecta a la salud de las personas que viven en edificios sin ningún tipo de confort térmico, una rehabilitación energética de su vivienda?; ¿de qué manera repercutiría eso en gastos sanitarios que dejaran de repercutir en los gastos de la Seguridad Social?; ¿de qué manera repercutiría una mejora en la salud de los ciudadanos, en un menor número de bajas laborales por enfermedad? Y así, podría pensarse en muchas externalidades que indirectamente se verían afectadas por una mejora de los edificios en el que viven las personas. Como puede verse, es un problema de muy difícil cuantificación por la gran cantidad de factores que podrían verse implicados. El cómputo que aquellos gastos que sí podemos cuantificar, al menos nos darán una idea de qué medidas van a ser más costo-eficientes.

3. Ejemplo de aplicación

Partimos de un sencillo ejemplo en el que se realizan varias simplificaciones en las hipótesis de partida. Suponemos la rehabilitación de un edificio plurifamiliar, de

1970, con planta baja y siete alturas, con 4 viviendas por planta. La planta baja es un local diáfano cuya área es la planta de las viviendas salvo el portal. Las principales características constructivas de la envolvente térmica son:

Fachada: fachada mixta de ladrillo caravista y parte con enfoscado, teniendo el espesor total del muro 20 cm. Se trata de un edificio de doble hoja cerámica sin cámara aislante. Las medianeras presentan un espesor de 12 cm.

Carpintería: de aluminio anodizado, compuestas cada una de un módulo fijo y sobre este dos hojas correderas con cristal simple.

Cubierta: la cubierta es plana y transitable sin ningún tipo de aislamiento.

Supongamos que hemos valorado varias opciones de intervención. Para cerramientos se opta por trasdosado interior en fachadas, la proyección de PUR en medianería. La cubierta se aísla mediante láminas de lana de roca y las carpinterías se sustituyen por unas de PVC con cristal doble. Asimismo, se sustituyen los antiguos calentadores eléctricos por calderas de gas. Finalmente, estos son los costes, desglosados en los tipos que sigue la metodología del coste óptimo:

Coste de la inversión inicial:

Se realizan los PEC de las obras necesarias y se obtienen los siguientes valores:

Tabla 1. Resumen con el PEM y PEM de las distintas mejoras

Mejora	*Mejora*	*PEM (€)*	*PEC (€)*
En la envolvente térmica	1 - Fachada principal, coste aislamiento utilizando un trasdosado interior	9.661,51	11.497,20
	2 - Patios interiores, mejora por aislamiento utilizando un trasdosado interior	33.463,81	39.821,93
	3 - Medianeras, aislamiento exterior por proyección de poliuretano (PUR)	40.634,58	48.355,15
	4 - Cubierta, aislamiento térmico con placas de lana de roca	21.172,48	25.195,25
	5 - Huecos, carpintería de PVC	98.129,50	116.774,11
En las instalaciones	6 – Mejora de las instalaciones, caldera mixta para producción de ACS y calefacción	199.003,09	236.813,68
	Total mejoras en la envolvente térmica:	203.061,88	241.643,64
	Total mejoras en las instalaciones:	199.003,09	236.813,68
	Total mejoras edificio:	402.064,97	478.457,31
	Total por vivienda:	14.359,46	17.087,76

Coste de mantenimiento: De las medidas adoptadas, solamente se considera coste de mantenimiento en el caso de las instalaciones, debido a las revisiones preceptivas de las calderas de gas, cada 5 años. Se adopta un valor medio de 60 €.

Coste de eliminación: No se tendrá en cuenta en este estudio, ya que no se considera que transcurridos 30 años se vaya a demoler el edificio. Asimismo, no se considera Valor residual (V_r), ya que se considera que la vida útil de cada medida coincide con su vida económica y por tanto no habrá recuperación de dinero, una vez agotada la misma.

Coste anual: se considerará el coste de la energía. Para ello, se adopta un precio de la electricidad de 0.14 €/kWh y de 0.06 €/kWh para el gas natural. En realidad, este coste por implementar medidas de mejora de eficiencia energética, se considerará como un ahorro, es decir, desde el punto de vista del análisis de inversiones, este coste es a favor del inversor. Los programas de simulación energética permiten obtener los consumos antes y después de implementar la medida, por lo que se puede así estimar el ahorro experimentado.

Coste de sustitución: Se fija la vida útil del edificio en 50 años, coincidiendo con el agotamiento de la vida útil de las mejoras en la envolvente. La vida útil del resto de medidas, en 25 años para carpinterías y en 15 para las instalaciones.

Respecto al coste de las emisiones: Los programas de simulación energética permiten obtener las emisiones antes y después de implementar la medida, por lo que se puede así estimar el ahorro experimentado.

El precio del CO_2, se cifra de acuerdo al RD244/2012, se cifra en: 20 €/tonelada hasta 2.025, 30 €/tonelada hasta 2030 y 50 €/tonelada desde 2030.

La calificación obtenida con el programa, para el edificio en su estado actual, sin haberle incluido ningún tipo de mejora, es una G con 93.1 $kgCO_2/m^2$, como se puede ver en la siguiente figura:

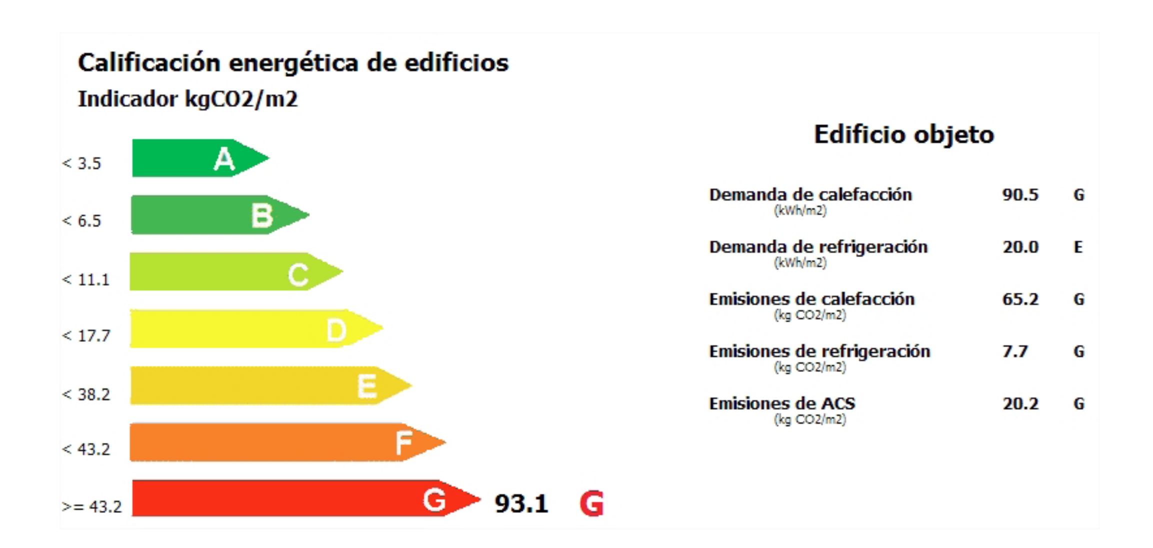


Figura 1. Calificación energética tras la toma de datos

Estas son las calificaciones que se obtienen al simular el edificio en el programa CE3X, tras implementar de forma aislada cada una de las medidas:

Tabla 2. Ahorro de CO_2 de acuerdo a la simulación en CE3X

Solución	*Calificación de cada medida*	*Diferencia con el edificio actual*	*% ahorro emisión CO_2*
Fachada principal: aislamiento utilizando un trasdosado interior	92,30	0,80	0,80
Patios interiores: aislamiento utilizando un trasdosado interior	74,90	18,20	19,50
Medianeras: aislamiento mediante proyección de PUR	80,50	12,60	13.50
Cubierta: aislamiento cubierta transitable	90,30	2,80	2.90
Carpintería de PVC	90,10	3,00	3,20

El precio del CO_2 tomado del mercado de emisiones y el ahorro de energía transformado en euros, se recogen en la tabla 3:

Tabla 3. Resumen de costes que son anuales de acuerdo a la simulación en CE3X

Medida	*Coste medidas 50 años (€)*	*Ahorro CO_2 2015 a 2065 (€)*	*Ahorro energía 50 años (€)*	*Coste total en 50 años (€)*
Trasdosado fachada principal	11.497,20	−4.223,44	−55.093,50	−47.819,74
Trasdosado patios	39.821,93	−102.207,19	−1.353.222,50	−1.415.607,75
Inyección de PUR	48.355,15	−70.728,50	−937.331,50	−959.704,85
Aislamiento cubierta	25.195,25	−15.485,94	−208.502,00	−198.792,69
Carpintería PVC	233.548,21	−16.612,19	−222.971,00	−6.034,98
Caldera mixta GN ACS y calefacción	947.254,71	−333.088,44	−1.695.417,00	−1.081.250,73
Σ	1.305.672,45	−542.345,69	−4.472.537,50	−3.709.210,74

En los años que corresponda habrá que introducir los costes derivados de las labores de mantenimiento y sustitución.

Tipo de actualización: de acuerdo al RD244/2012, se adopta un 3 %. Además, tal y como indica el Reglamento, se incluirá un análisis de sensibilidad, tomando al menos otro tipo de actualización. Adoptamos como valores el 1 y 5 %, para ver la variación al modificar el tipo de actualización por encima y por debajo del 3 %.

En los años que se haya decidido para el cálculo, 50 en este caso, se deberá realizar el flujo de caja, y actualizarlo de acuerdo al tipo o tipos escogidos. A continuación, se muestra una tabla resumen con los resultados desde el punto de vista dinámico, a través del enfoque macroeconómico del RD 244/2012, de acuerdo a las hipótesis adoptadas. Se consiguen los siguientes resultados para el VAN y los años en los que se habría recuperado la inversión (momento en que el VAN pasa de negativo a positivo), para los distintos tipos de actualización:

Tabla 4. Tabla resumen de valor del VAN (€) y del año de recuperación de la inversión.

Medidas de mejora	*VAN1 %*	*Años (1 %)*	*VAN3 %*	*Años (3 %)*	*VAN 5 %*	*Años (5 %)*
1 - Fachada principal	35.005	11	19.135	12	10.441	14
2 - Trasdosado patios	109.8819	2	704.810	2	487.005	2
3 - Inyección de PUR	740.498	3	468.000	3	317.529	3
4 - Cubierta	150.235	6	89.971	7	56.806	7
5 - Carpintería PVC	−18.397	No (en 50 años)	−45.124	No (en 50 años)	−57.631	No (en 50 años)
6 - Caldera mixta GN ACS y calefacción	35.005	11	492.702	7	10.441	14
Todas las medidas	823.829	17	418.596	18	195.214	20

Esta gráfica representa cómo varía el VAN por ejemplo al implementar la primera medida de aislamiento de fachada y se constata cómo es de sensible el cálculo al tipo de actualización utilizado, crítica principal que suele tener este método. Tal y como se observa, al inversor le interesa un tipo de actualización lo más bajo posible:

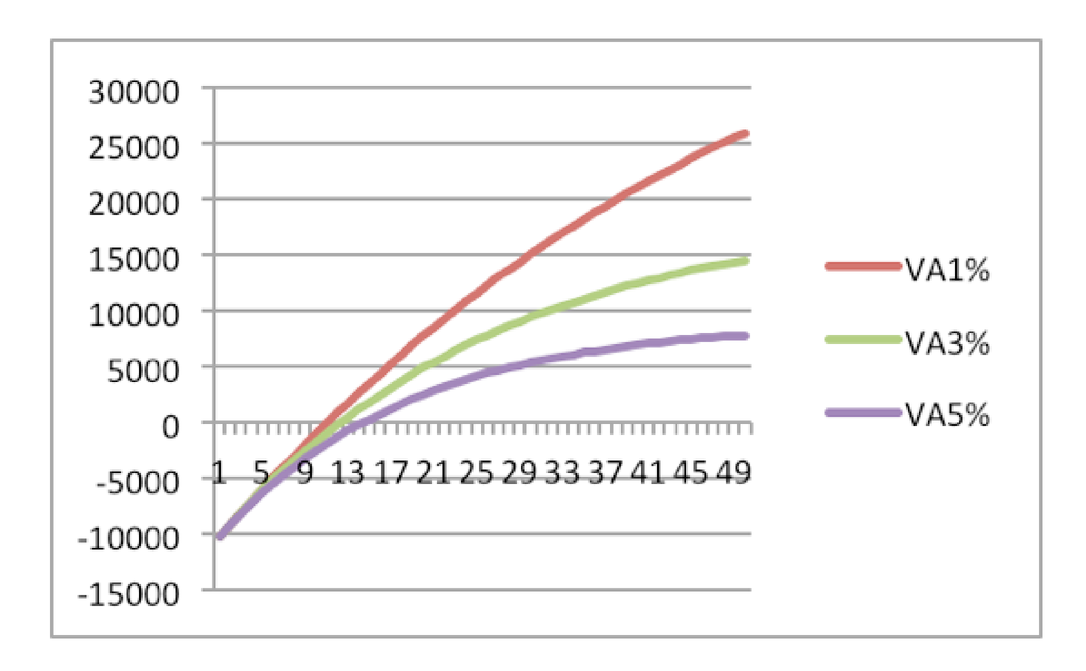


Figura 2. tabla resumen de valor del VAN para el trasdosado interior de fachada y análisis de sensibilidad del tipo de actualización

La siguiente figura representa los valores actualizados cada año, para todas las medidas aplicadas conjuntamente y para un tipo del 3 %. Se puede observar cómo fluctúa, debido a los costes de sustitución fundamentalmente, en los años 15, 30 y 45, cuando se efectúa la sustitución de la caldera. Se observa que, considerando todas las medidas juntas, a pesar de los malos resultados que se obtenían para las carpinterías, la recuperación de la inversión se realiza a partir del año 18, con un VAN al final del periodo considerado, 50 años, de unos 43.000 €. El propietario debería decidir si le interesa ese paquete de medidas y si el periodo de recuperación de la inversión es aceptable.

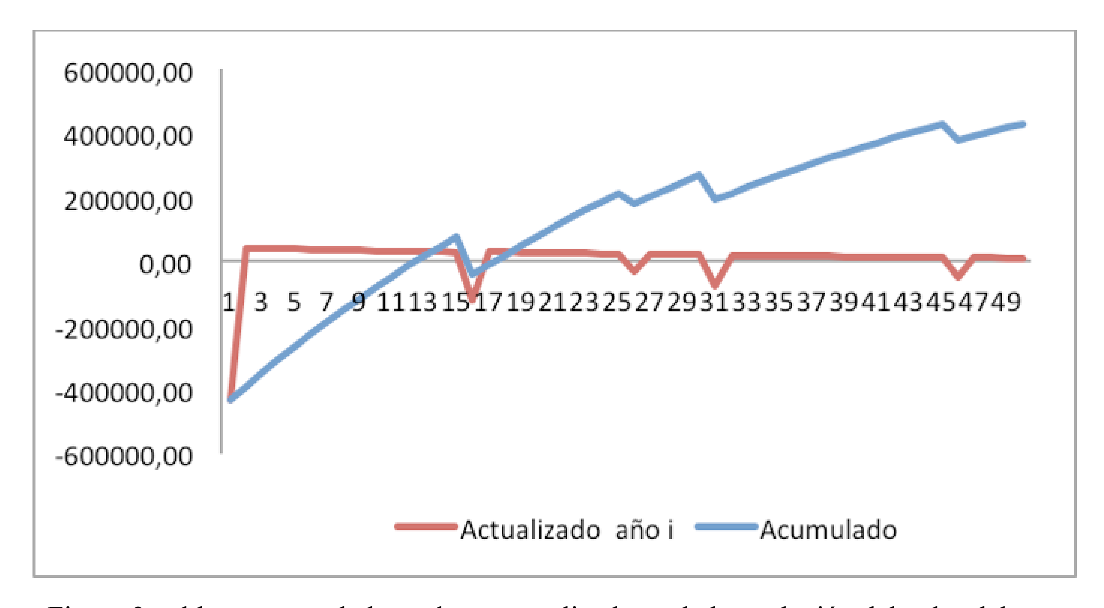


Figura 3. tabla resumen de los valores actualizados y de la evolución del valor del VAN

4. Autoevaluación

1. De acuerdo a los siguientes datos, analiza qué medida es la que permite obtener un mayor ratio de euros de ahorro energético frente a euros de inversión:

Medida	*Coste medidas 50 años (€)*	*Ahorro energía 50 años (€)*	*Ratio*
Trasdosado fachada principal	11.497,20	-55.093,5	
Trasdosado patios	39.821,93	-1.353.222,5	
Inyección de PUR	48.355,15	-937.331,5	
Aislamiento cubierta	25.195,25	-208.502,0	
Carpintería PVC	233.548,21	-222.971,0	
Caldera mixta GN ACS y calefacción	947.254,71	-1.695.417,0	

Observaciones:

2. ¿Por qué es más adecuado un método dinámico que uno estático, a la hora de analizar la costo-eficiencia de medidas de mejora de la eficiencia energética?, ¿qué desventajas tiene?

3. ¿Qué tipos de costes incluye el método del coste óptimo?

Coste	*Definición*	*Forma de cálculo*

4. ¿Qué diferencias hay entre la perspectiva financiera y macroeconómica del cálculo del método del coste óptimo?

5. ¿Qué son las externalidades? ¿Cuál o cuáles se consideran en la metodología propuesta por el Reglamento Delegado (UE) 244/12? En el tema se habla sobre la

externalidad que podría suponer un ahorro a la Seguridad Social derivado de la implementación de medidas de rehabilitación energética. Piensa en alguna otra externalidad que no sea tenida en cuenta.

5. Bibliografía

Reglamento Delegado (UE) 244/2012 de la Comisión, de 16 de enero de 2012.

Directrices que acompañan al Reglamento Delegado (UE) 244/2012 de la Comisión, de 16 de enero de 2012.

Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética de los edificios.

Ruá, María J., Guadalajara, N., 2015. Estimating a threshold price for CO_2 emissions of buildings to improve their energy performance level. Case study of a new Spanish home. *Energy Efficiency Journal*, Vol. 8(2), pp. 183-203

Fernando del Campo Esbrí, 2015, *Estudio técnico-económico para la rehabilitación energética de un edificio plurifamiliar*, Trabajo Final del Máster Universitario en Eficiencia Energética y Sostenibilidad de la Universitat Jaume I.

Sergi Aguacil Moreno, 2013, *Evaluación de la metodología de coste-óptimo para la rehabilitación energética de edificios y valoración del objetivo nZEB (nearly Zero Energy Buildings)*, Tesina Final de Master Universitario en Arquitectura, Energía y Medioambiente de la Universitat Politècnica de Catalunya.

Índice de tablas

TEMA 2. Ahorro energético en los edificios existentes a través de su envolvente térmica

TEMA 3. Condensaciones y puentes térmicos en los edificios

TEMA 4. Selección de sistemas constructivos para rehabilitación energética de edificios

TEMA 5. Estimación simplificada de cargas térmicas

TEMA 8. Consideraciones económicas de la Eficiencia Energética

ISBN: 978-84-16546-24-4

DOI: http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia124

Índice de figuras

TEMA 1. Introducción a la eficiencia energética en la edificación

TEMA 2. Ahorro energético en los edificios existentes a través de su envolvente térmica

TEMA 3. Condensaciones y puentes térmicos en los edificios

TEMA 4. Selección de sistemas constructivos para rehabilitación energética de edificios

TEMA 5. Estimación simplificada de cargas térmicas

TEMA 6. Instalaciones del edificio en relación a la eficiencia energética

TEMA 7. Instalaciones Solares térmicas

TEMA 8. Consideraciones económicas de la Eficiencia Energética